

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОБГРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ В АВТОТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

Кашканов А. А.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Виконано аналіз математичних методів обґрунтування рішень, які традиційно застосовуються для розв'язування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод, на основі якого визначено шляхи удосконалення існуючих та побудови нових методів підвищення точності розрахунків та категоричності експертних висновків.*

***Ключові слова:** автомобіль, безпека руху, дорожньо-транспортна пригода, автотехнічна експертиза, математичні методи, обґрунтування рішень.*

Вступ

Забезпечення безпечної експлуатації автомобільної техніки є актуальною проблемою для багатьох країн світу. За 2010–2017 роки в Україні зареєстровано близько 1 млн 391 тис. дорожньо-транспортних пригод (ДТП), у яких загинуло 35 тис. та травмовано 284 тис. осіб [1]. За результатами 2017 року у країні за добу в середньому відбувається 445 ДТП, в котрих 95 людей отримують травми та гине щонайменше 9 людей [2]. Це ставить перед Україною цілий комплекс завдань, спрямованих на підвищення безпеки руху.

Вивчення усіх аспектів як транспортного процесу, так і дорожньо-транспортних пригод базується на аналізі складної картини взаємодії елементів (ланок) системи «водій–автомобіль–дорога–середовище» (ВАДС). Порушення в роботі кожного з елементів системи ВАДС призводить до зниження її ефективності (зменшення швидкості руху, немотивованих зупинок, збільшення витрати палива) або до аварії (ДТП). Великим резервом у вирішенні проблеми аварійності на автомобільному транспорті є підвищення точності й об'єктивності методів аналізу ДТП, виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

Аналіз публікацій

Один з фундаментальних принципів сучасної науки полягає в тому, що явище не можна вважати добре зрозумілим, поки воно не описано за допомогою кількісних характеристик. Отже багато з того, що складає сутність наукового знання, можна розглядати як сукупність принципів і методів, необхідних для конструювання математичних моделей різних систем, які дозволяють отримувати кількісну інформацію про їх поведінку [3].

Судова автотехнічна експертиза (САТЕ) є експертним дослідженням, що проводиться з

метою встановлення механізму й обставин ДТП з врахуванням показників технічного стану транспортних засобів, якості та параметрів дороги, психофізіологічних характеристик її учасників та інших факторів [4, 5].

Надійність і точність результатів експертизи ДТП є важливим фактором, що визначає категоричність висновків експерта-автотехніка та впливає на рішення суду про ступінь винності учасників пригоди. Сучасна автотехнічна експертиза потребує застосування методик і технологій, які забезпечують не тільки необхідну точність виконуваних розрахунків, але й дозволяють всебічно дослідити механізм ДТП. У країнах ЄС та США автотехнічне дослідження із застосуванням спеціалізованих комп'ютерних програм є стандартною процедурою моделювання механізму ДТП та його візуалізації, оскільки вони сприймаються як комп'ютеризовані версії відомих законів механіки, а також фундаментальних досліджень у галузі механіки удару та динаміки автомобілів. Такі програми, як правило, не потребують сертифікації або апробації – експерт-автотехнік сам обирає методики та несе повну відповідальність за об'єктивність та науковість виконаного дослідження [6, 7, 8].

Розслідування обставин ДТП належить до категорії найскладніших. Незважаючи на існування великої кількості методичної літератури та рекомендацій з розслідування вказаної категорії справ, проблеми експертизи ДТП, які існували раніше, існують й нині в Україні, незважаючи на краще технічне оснащення, введення спеціалізації слідчих та покращення їх підготовки [9].

Під час експертизи дорожньо-транспортних пригод виконується комплексне науково-технічне дослідження всіх аспектів кожної пригоди окремо. Як відомо, кожна ДТП

має свої певні особливості, причому в більшості пригод одночасно діють декілька видів причинно-наслідкових зв'язків. Це ускладнює експертизу ДТП і зумовлює необхідність шляхом інженерного аналізу встановлювати частинні технічні, причинно-наслідкові, функціональні, часові та інші зв'язки, які діяли у процесі пригоди. Великою мірою об'єктивність розслідування залежить від правильності вибору початкових даних та методики інженерного розрахунку [10, 11].

Як правило, пригоди розвиваються за декілька секунд, а інколи – за долі секунди. Кожна пригода, хоч і підлягає загальним характеристикам для всієї сукупності закономірностей, є наслідком конкретних факторів. Ці фактори можуть бути як загальними для цілої групи автомобілів, що попали в ДТП (наприклад, ожеледь на якійсь із ділянок дороги), так і суто індивідуальними, характерними тільки для даної пригоди (наприклад, раптова відмова гальмівної системи, нетверезий стан водія, невірна поведінка пішохода тощо).

Кожна із задач при дослідженні ДТП може розглядатися як пошук відображення

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow Y_j \in Y = (\underline{y}, \bar{y}), \quad (1)$$

де X – множина факторів впливу для конкретної задачі; Y – множина рішень про значення конкретної вихідної величини.

Основні труднощі розв'язування такого роду задач обумовлені наступним [5, 7, 12]:

1. Для прийняття об'єктивного рішення про причини аварії необхідно враховувати дуже велике число факторів впливу. Крім того, в більшості ДТП одночасно діють декілька видів причинно-наслідкових зв'язків.

2. Застосування точних методів пов'язане з великими затратами часу і ресурсів.

3. Немає можливості набрати статистичний матеріал, щоб скористатись теорією імовірностей.

4. Відсутні аналітичні залежності між факторами впливу (причинами) і відповідним наслідком або існують великі труднощі при застосуванні відомих, оскільки ці фактори різноманітні за характером: вони можуть бути кількісними (швидкість руху автомобіля, маса вантажу), якісними (тип шин, вид і стан дорожнього покриття). Та й навіть інформація про кількісні величини часто буває подана в лінгвістичній формі.

Незважаючи на велику кількість публікацій з теорії та застосування експертних сис-

тем, а також інтелектуальних систем прийняття рішень [3, 13, 14], на сьогодні відсутні зручні інструментальні засоби, які дозволяють створювати такі системи і впроваджувати їх у практику автотехнічної експертизи. Це обумовлено недостатньою ефективністю математичних методів, які традиційно застосовуються в теорії автомобіля для моделювання залежностей між факторами впливу (причинами) і наслідком [6, 11, 15, 16].

Мета і постановка завдання

Метою роботи є формування шляхів удосконалення існуючих та побудови нових методів підвищення точності розрахунків та категоричності експертних висновків.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

– провести аналіз математичних методів обґрунтування рішень, які традиційно застосовуються для розв'язування задач автотехнічної експертизи ДТП, та сформулювати шляхи подолання труднощів їх застосування;

– оцінити вплив характеру математичних моделей на точність розрахунків та категоричність експертних висновків.

Аналіз застосування математичних методів у практиці розслідування ДТП

Оскільки при вирішенні задач САТЕ прийняття рішень відбувається в умовах неповноти інформації, тобто в умовах невизначеності, для вирішення проблеми автоматизації цього виду діяльності можуть використовуватися багато з формальних методів (рис. 1), які розроблені в рамках кібернетичної науки [3, 13]. Таким чином, неповнота інформації призводить до виникнення задач прийняття рішень в умовах невизначеності [14, 17].

Судячи зі спеціальних публікацій з теорії та розрахунку автомобіля [15, 16], які є теоретичною основою для проведення автотехнічної експертизи та з експертизи ДТП [5–12], найбільшого поширення набули: імовірно-статистичний підхід, регресійний аналіз, метод фазового інтервалу, логічний висновок, теорія нечітких множин та енергетичні методи реконструкції ДТП.

Імовірно-статистичний підхід [11] переважно використовується для оцінки достовірності кількісних показників, значення яких можуть приймати неперервний ряд значень, і найчастіше полягає в розрахунку довірчого інтервалу (похибки) за заданою довірчої імовірності.



Рис. 1. Класифікація методів прийняття рішень в умовах невизначеності

Нехай за даними вимірювань x_1, x_2, \dots, x_n розрахована середня величина

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}. \quad (2)$$

Очевидно, що \bar{x} не обов'язково збігається з істинним значенням оцінюваного параметра x і в загальному випадку існує відмінна від нуля різниця величин \bar{x} та x : $0 \leq |\bar{x} - x| < \delta$.

Додатне значення δ задає похибку і характеризує достовірність параметра, що вимірюється. Як правило, справедливості нерівності $|\bar{x} - x| < \delta$ стверджується тільки з деякою імовірністю γ , яка називається «довірчою імовірністю». Звичайно довірчу імовірність задають рівною 0,95, 0,99 або 0,999 і за відомого її значення обчислюють похибку δ .

Для нормального закону розподілу x_1, x_2, \dots, x_n похибка параметра δ обчислюється за формулою

$$\delta = t_\gamma (S\sqrt{n}), \quad (3)$$

де $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ – виправлене «середнє квадратичне відхилення»; n – об'єм вибірки (число вимірювань значення x); t_γ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять із таблиць.

Інтервал $(\bar{x} - \delta, \bar{x} + \delta)$, який покриває невідоме значення параметра x з імовірністю γ , називається «довірчим інтервалом». Скоротити довірчий інтервал можна або збільшуючи число вимірювань n , або зменшуючи довірчу імовірність.

Різним модифікаціям імовірнісно-статистичного підходу, який використовується при експертизі ДТП, властиві такі обмеження:

1. Статистична інформація, необхідна для застосування імовірнісно-статистичних методів, як правило, відсутня. Її збір, обробка і зберігання пов'язані зі значними організаційними та обчислювальними труднощами.

2. Статистичні методи не дозволяють категорично стверджувати, що нерівність $|\bar{x} - x| < \delta$ буде виконуватися у всіх випадках, яким би великим не було значення похибки δ .

3. Значну трудність становить внесення до моделі нової інформації, що зумовлено необхідністю перерахунку всіх статистичних оцінок параметрів.

Регресійний аналіз [18]. Нехай q – деякий вихідний параметр (наприклад, швидкість автомобіля), значення якого необхідно визначити, і q залежать від вектора вхідних параметрів $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$. Тоді, використовуючи методи теорії планування експерименту, можна побудувати рівняння лінійної регресії

$$q = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \quad (4)$$

де a_0, a_1, \dots, a_n – невідомі коефіцієнти, які визначаються методом найменших квадратів.

За необхідності врахування парних взаємодій параметрів, рівняння регресії ускладнюється і набуває нелінійного характеру.

Основні обмеження такого підходу:

1. За допомогою регресійного аналізу можуть вирішуватися лише ті задачі, в яких параметри впливу і вихідний розв'язок (величина) носять кількісний характер.

2. Значення вихідного параметра q , яке вираховується за допомогою регресійної моделі, сильно чутливе до умов експерименту, в яких оцінювались коефіцієнти a_0, a_1, \dots, a_n . Тому регресійні моделі, отримані в одних умовах (стан дороги, стан автомобіля і т. п.) не завжди можна переносити на інші умови.

3. Отримання статистично значущих коефіцієнтів у рівняннях регресії потребує обробки великого експериментального матеріалу.

В основі різних модифікацій методу фазового інтервалу [19] лежить ідея віднесення певної ситуації до того чи іншого випадку на основі обчислення відстані між двома точками у фазовому просторі. Розглядається n -вимірний простір, кожна координата $x_i, i = \overline{1, n}$ якого відповідає одному з факторів впливу. Точка (x_1, x_2, \dots, x_n) фазового простору відповідає деякому випадку $d_j, j = \overline{1, m}$.

На основі вивчення розслідуваних ДТП та досвіду експертів у фазовому просторі виділяються області (множини точок) D_1, D_2, \dots, D_m , які відповідають випадкам d_1, d_2, \dots, d_m . Середини цих областей визначаються точками C_1, C_2, \dots, C_m .

Нехай X^* – точка у фазовому просторі, яка відповідає певній ситуації; $R(X^*, C_j)$ – інтервал між точками X^* та $C_j, j = \overline{1, m}$. Тоді як випадок d_j^* , що відповідає вектору параметрів

$X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$, вибирається точка C_j або область D_j , для якої

$$R(X^*, C_j) = \min_{j=1, m} \{R(X^*, C_j)\}. \quad (5)$$

Для обчислення інтервалу $R(A, B)$ між точками $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ та $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, в n -вимірному просторі може використовуватися відстань за Хеммінгом

$$R(A, B) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|, \quad (6)$$

або Евклідова відстань

$$R(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}. \quad (7)$$

Порівняно з імовірнісно-статистичним підходом та регресійним аналізом, метод фазового інтервалу не потребує накопичення великого статистичного матеріалу та його трудомісткої обробки. Проте застосування цього методу обмежено тільки кількісними або бінарними факторами впливу.

В літературі описуються й інші методи, основані на ідеях фазового інтервалу та теорії ймовірностей. Проте всі вони є модифікаціями або технічними реалізаціями методів, які розглянуті вище.

Логічний висновок реалізований в мові логічного програмування Пролог [20], яка широко використовується в експертних системах [3, 14].

Теоретичною основою мови Пролог є апарат логіки предикатів, який дозволяє здійснювати автоматичне доведення теорем [20]. Згідно з цією методологією, рішення d_j^* може бути прийняте для ситуації з вектором параметрів $(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$, якщо в експертній базі знань (правил «ЯКЩО-ТО») існує ланцюжок міркувань для доказу справедливості твердження

$$\text{ЯКЩО } x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*, \text{ ТО } d_j^*.$$

Пролог зручний для пошуку ланцюга правил, які ведуть від фактів (x_i^*) до цілі (d_j^*) або від цілі до фактів, які вибрані з бази знань. Це дозволяє не тільки приймати рішення, а і пояснювати його причини. Проте існує велика множина знань, які мають нечітку, імовірніс-

ну природу. Наприклад, в області автотехнічної експертизи це знання типу: «ЯКЩО автомобіль при гальмуванні заносить, ТО можливо існує істотна різниця між коефіцієнтами зчеплення з лівої та правої сторони», або «ЯКЩО важіль гальма провалюється, ТО в систему попало повітря».

Для подібних знань вводять коефіцієнт впевненості зі значеннями від -1 до 1 (від ненадійних знань до достовірних знань). Цей спосіб достатньо простий, але в якійсь мірі суб'єктивний. До того ж коефіцієнт впевненості визначає все правило, а що ж робити з такими поняттями як «істотна різниця», провалюється не до кінця і т. п.?

Для реалізації дедуктивного логічного висновку в Пролозі необхідна операція пошуку за зразком. Іншими словами, для висновку за допомогою правила «якщо $x \in A$, то $y \in B$ » необхідно насамперед перевірити, чи існує в базі знань факт « $x \in A$ ». Пролог не забезпечує можливості логічного висновку в проміжних точках типу « $x \in$ величиною близькою до A ». Тому в базі знань необхідно зберігати інформацію про всі допустимі значення параметра x . Це призводить до надмірного збільшення затрат машинної пам'яті та часу на логічний висновок.

Теорія нечітких множин та лінгвістичних змінних [13, 17]. Основою чіткої математичної обробки нечислової (лінгвістичної) інформації служить теорія нечітких множин, запропонована Л. Заде в 1965 р. Концепція нечіткої множини виникла у Заде як «незадоволеність математичними методами класичної теорії систем, яка змушувала домагатися штучної точності, недоречної в багатьох системах реального світу, особливо в так званих гуманістичних системах, які включають людей» [17]. Основні поняття теорії нечітких множин такі.

Нехай U – універсальна множина, тобто повна множина, яка охоплює всю проблемну область. Нечітка підмножина F множини U визначається через функцію належності $\mu_F(u)$, де u – елемент множини, тобто $u \in U$. Функція належності відображає елементи із множини U на множину чисел в інтервалі $[0, 1]$, які вказують ступінь належності кожного елемента $u \in U$ нечіткій множині $F \subset U$. Якщо універсальна підмножина U складається з кінцевого числа множин (або елементів) u_1, u_2, \dots, u_n , то нечітка множина F подається

у вигляді $F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i) / u_i$. У випадку непе-

первної множини U використовується таке позначення $F = \int \mu_F(u) / u$. Знаки суми та інтегралу в цих формулах позначають сукупність пар $\mu(u) / u$.

Операції доповнення, об'єднання та перетину нечітких множин визначаються так:

1. Доповнення множини

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n (1 - \mu_F(u_i) / u_i), \quad \mu_{\bar{F}}(u) = 1 - \mu_F(u).$$

2. Об'єднання множин

$$F \cup G = \sum_{i=1}^n \{ \mu_F(u_i) \vee \mu_G(u_i) \} / u_i, \\ \mu_{F \cup G}(u) = \mu_F(u) \vee \mu_G(u),$$

де \vee – знак операції взяття максимуму.

3. Перетин множин

$$F \cap G = \sum_{i=1}^n \{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_G(u_i) \} / u_i, \\ \mu_{F \cap G}(u) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(u),$$

де \wedge – знак операції взяття мінімуму.

При виконанні нечітких висновків необхідно знати нечіткі відношення. Припустимо, що існує знання-правило типу «якщо F , то G », яке використовує нечіткі множини $F \subset G$ і $G \subset V$, задані на універсальних множинах $U = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ та $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$. Тоді, згідно з [13], нечітке відношення між множинами $F \subset G$ та $G \subset V$ визначається матрицею виду

$$R = F \times G = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_G(v_j) \} / (u_i, v_j),$$

у якій елемент, який стоїть на перетині u -рядка і v -стовпчика, визначається так

$$\mu_R(u, v) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(v). \quad (8)$$

Нечіткий логічний висновок записується таким чином: $F \rightarrow G, F'/G'$. Це означає, що якщо факт G випливає з факту F , то факт G' випливає з факту F' , де F, G, F', G' – нечіткі множини. Для розрахунку висновку G' використовується формула

$$G' = F' \circ R = F' \circ (F \times G), \quad (9)$$

де \circ – операція max-min композиції, згідно з якою

$$G' = \sum_{i=1}^m \vee_{u_i \subset U} \{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_R(u_i, v_j) \} / v_j, \quad (10)$$

$$F, F' \subset U; \quad G, G' \subset V.$$

Порівняно з методом фазового інтервалу нечітка логіка не потребує застосування тільки кількісних або бінарних факторів впливу. Немає необхідності накопичення великого статистичного матеріалу та його трудомісткої обробки порівняно з імовірнісно-статистичним підходом та регресійним аналізом. Її перевагами є:

- можливість оперувати вхідними даними, заданими нечітко: значення, що безупинно змінюються в часі; значення, що неможливо задати однозначно;
- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки і порівняння;
- можливість оперувати не тільки власне значеннями даних, але їхнім ступенем вірогідності та її розподілом;
- можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем та виконання порівняльного аналізу із заданим ступенем точності.

Енергетичні методи реконструкції ДТП [21] ґрунтуються на принципі еквівалентності кількості кінетичної енергії транспортних засобів до ДТП та кількості потенціальної енергії деформації та руйнування, що залишилась у пошкодженому автомобілі та дорожніх спорудах.

Схему зіткнення двох рухомих об'єктів можна проаналізувати за допомогою рівняння балансу енергії системи [21]

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) V_0^2}{2} + \int_0^{S_1} F_1 dS_1 + \int_0^{S_2} F_2 dS_2, \quad (11)$$

де F_1 – сила деформації першого об'єкта; F_2 – сила деформації другого об'єкта; m_1 та m_2 – маси об'єктів зіткнення; V_1 та V_2 – швидкості об'єктів перед зіткненням; V_0 – спільна швидкість обох об'єктів після зіткнення; S_1 та S_2 – деформації в результаті зіткнення.

З розв'язку цього рівняння виведено залежність середнього сповільнення як функції відносної швидкості руху об'єктів. На основі аналітичних результатів можна моделювати різні типи зіткнення автомобілів, оцінювати

деформацію тих чи інших вузлів, а також робити висновок про безпеку автомобіля за двома показниками: деформацією всього автомобіля та деформацією салона.

Під час зіткнення автомобілів доля енергії, що витрачається на пружну деформацію, дуже мала. В основному вся енергія витрачається на утворення пластичної деформації. Сумою деформацій окремих елементів визначається загальна деформація, а також енергія, що поглинається при цьому автомобілем. Один з методів визначення сумарних деформацій та енергії, що поглинається, припускає розчленування кузова автомобіля на окремі жорсткі маси, які взаємодіють при деформації кузова [21]. Тобто під час зіткнення автомобіля з перешкодою його кінетична енергія поглинається автомобілем, перетворюючись у кінетичну енергію його окремих частин, енергію пружної та пластичної деформації

$$\Delta E = 0,5mV_0^2 = \sum \frac{M_i V_i^2}{2} + \sum \left(\frac{c_i}{2} f_i^2 + \frac{l_i}{2} F_i \right), \quad (12)$$

де m – маса автомобіля; V_0 – швидкість автомобіля під час зіткнення; M_i – маса окремих частин автомобіля; V_i – початкова швидкість окремих частин автомобіля; c_i – жорсткість пружного елемента; f_i – деформація окремих елементів; F_i – деформуюча сила, що діє на окремі елементи.

Існуючі проблеми розвитку енергетичних методів реконструкції ДТП можна успішно подолати за рахунок використання останніх досягнень інформаційних технологій та забезпечення необхідними приладами.

Обмеження методів, які розглянуті вище, зведені в табл. 1 (А – ймовірно-статистичний метод; Б – регресійний аналіз; В – метод фазового інтервалу; Г – логічне програмування; Д – теорія нечітких множин; Е – Енергетичні методи реконструкції ДТП; + (–) – наявність (відсутність) труднощів).

З табл. 1 видно, що розглянуті методи, на відміну від теорії нечітких множин, не пристосовані до роботи з якісними (нечисловими) та нечіткими знаннями, тобто знаннями, які задаються природною мовою. Проте, саме такі евристичні або інтуїтивні знання часто використовуються при розслідуванні ДТП. Іншими словами, вивчаючи досвід кваліфікованих експертів-автотехніків, можна його використовувати при побудові моделей на базі теорії нечітких множин.

Таблиця 1 – Труднощі застосування математичних методів при експертизі ДТП

Труднощі	Методи					
	А	Б	В	Г	Д	Е
1. Збору та обробки статистичної інформації	+	+	–	–	–	+
2. Поповнення бази знань	+	+	–	–	–	+
3. Забезпечення стійкості моделі до факторів впливу	+	+	–	–	–	+
4. Врахування якісних параметрів	+	+	+	+	–	+
5. Роботи з нечіткими знаннями	+	+	+	+	–	+

До недавнього часу теорія нечітких множин розвивалася в основному в математичному аспекті [13]. В останній час з'явилися публікації про застосування цієї теорії у традиційних для складних систем задачах проектування та управління [14, 17]. Одна галузь, в якій нечітка логіка є загальноприйнятною технологією проектування, – автомобілебудування [22].

Результати аналізу математичних методів обґрунтування рішень (табл. 1), які традиційно застосовуються для розв'язування задач автотехнічної експертизи ДТП та узагальнення досвіду, накопиченого автором при розв'язанні практичних задач [23], дозволяють рекомендувати теорію нечітких множин та лінгвістичних змінних до використання під час дослідження механізму виникнення аварійних ситуацій.

Оцінка впливу характеру математичних моделей на точність розрахунків та категоричність експертних висновків

Незважаючи на те, що кожна з існуючих сучасних методик експертного дослідження, основана на використанні комп'ютерів, специфічна і орієнтована на розв'язання конкретної задачі під час дослідження різних об'єктів, вони мають низку загальних властивостей [10, 23].

1. В основі цих методик лежать принцип системної організованості об'єкта пізнання, кількісної визначеності та використання математичного апарату, функціональний і алгоритмічний підхід до процесу пізнання та пізнаваного об'єкта.

2. Методологічною передумовою, ланкою, що передуює формуванню і застосуванню конкретної методики дослідження, є математичне моделювання об'єкта і розробка (чи вибір)

алгоритму процесу його пізнання. Тут моделювання – це не лише побудова моделі розв’язання певної задачі, але і створення моделі об’єкта аналізу, моделі порівняльного аналізу ознак тощо.

3. У структурі кожної з методик можна виділити характерні для будь-якої з них елементи: постановка задачі й визначення мети дослідження; поділ загальної задачі на окремі підзадачі; визначення конкретних засобів і прийомів їх реалізації; власне практична діяльність, що складається з певної сукупності трудових операцій; отримання результату і його оцінка; ухвалення рішення.

4. Жодна методика, основана на використанні комп’ютерів, не охоплює усього процесу розв’язання експертної задачі. Їх використання, як правило, підвищує об’єктивність та автоматизує лише ту або іншу операцію (чи групу операцій), яка може відноситися як до самого процесу пізнання, так і до оцінки отриманих результатів. Тому використання комп’ютерних технологій ні в якому разі не виключає використання якісного підходу до об’єкта пізнання.

Загальноприйняті методики аналізу і реконструкції обставин ДТП, які використовуються у світовій практиці, основані на математичних моделях, що описують два основних процеси, які відбуваються в ДТП з автомобілями, – процес руху і процес удару [5–9, 11, 12]. Обидва процеси описують моделями, побудованими на науковій основі з використанням відомих законів механіки та базованими на тих чи інших експериментальних даних. Для забезпечення певного рівня точності розрахунків та категоричності висновків експерта необхідно, щоб отримані таким чином математичні моделі теж були наукові. Науковість використовуваних моделей можна оцінити шляхом застосування поняття інтерполяційної та екстраполяційної моделі.

Постановку задачі інтерполяції можна подати так. Нехай функція $y = f(x)$ задана таблицею: $y_0 = f(x_0)$, $y_1 = f(x_1)$, ..., $y_n = f(x_n)$. Необхідно знайти многочлен $P(x) = P_n(x)$ ступеня не вище n , значення якого в точках x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) співпадають зі значеннями даної функції, тобто $P(x_i) = y_i$. Геометрично це означає, що необхідно знайти алгебраїчну криву виду $y = a_0x^n + a_1x^{n-1} + a_n$, яка проходить через задану систему точок $M(x, y)$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) (рис. 2). Многочлен $P(x)$ називається інтерполяційним многочле-

ном. Точки x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) називаються вузлами інтерполяції.

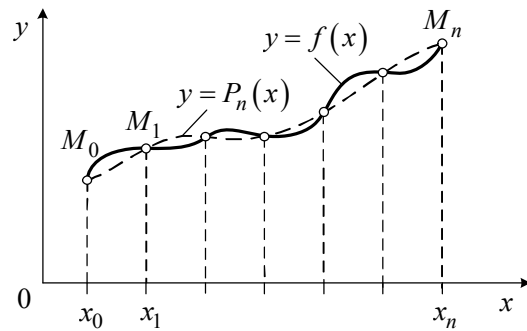


Рис. 2. Геометричний зміст інтерполяції

Доведено [18], що в цій постановці задача інтерполяції завжди має єдине рішення. Інтерполяційні формули звичайно використовуються при знаходженні невідомих значень $f(x)$ для проміжних значень аргументу. При цьому розрізняють інтерполяцію, коли x знаходиться між x_0 й x_n , та екстраполяцію, коли x знаходиться поза відрізком $[x_0, x_n]$. Під час оцінювання похибки результатів повинні враховуватись як похибка методу інтерполяції, так і похибка заокруглення результатів розрахунку.

Таким чином, інтервал $[x_0, x_n]$ становить область визначення, на якій будується інтерполяційна математична модель. Наприклад, експериментальне визначення значень гальмівного шляху спорядженого автомобіля, його ж із завантаженням 25 %, 50 %, 75 % і 100 % за певних дорожніх умов дозволяє з достатньою точністю визначити значення гальмівного шляху за інших значень завантаження автомобіля в межах області визначення (0–100 %). Відомо, що значення гальмівного шляху зростає зі збільшенням завантаження автомобіля, але це не означає, що при деякому завантаженні понад 100 % значення гальмівного шляху буде прямувати до нескінченності й загальмований автомобіль ніколи не зупиниться.

Математична модель, за допомогою якої визначають величину реакції об’єкта за межами області визначення $[x_0, x_n]$, є екстраполяційною, тобто призначеною для прогнозування величини реакції на основі деякої гіпотези, точність результатів якої можна встановити статистично за великого числа випробувань, а точність результату в певному випробуванні є невідомою. Цей висновок підтверджується відомою працею [24] та самими розробниками програми Crash [25], в

якій використання гіпотези тристоронньої уніфікованої жорсткості в моделі удару дає в окремих експериментах більш ніж 40 % похибку визначення швидкості транспортного засобу. Використання цієї ж гіпотези разом з гіпотезою Кудліха–Слібара [24] може призводити до виникнення множини можливих рішень, коли однаковий рух автомобілів після удару може визначатися широким спектром сполучення можливих параметрів їх руху в момент зіткнення.

Екстраполяційний та ймовірний характер моделей не означає, що вони взагалі не можуть застосовуватись в САТЕ. Вони можуть успішно застосовуватись як джерело версій ДТП. А для подання категоричного висновку по конкретному ДТП з використанням екстраполяційних моделей експерту необхідно довести неможливість інших обставин без посилання на гіпотези, що лежать в основі цих моделей.

Висновки

1. За відсутності можливості використання традиційних математичних методів, які базуються на виявленні точних кількісних взаємозв'язків, вихід із важкої ситуації вбачається в застосуванні логічних методів. З іншого боку, слід додати, що більшість оцінюваних (вимірюваних) параметрів носять неперервний характер. Об'єкти, що характеризуються такими параметрами, природно вивчати засобами неперервних (неперервно-значних) логік. У цьому випадку об'єкт вивчення і формальний апарат найбільш адекватні один одному. Таким чином, для дослідження ДТП в умовах невизначеності доцільно застосовувати наближені методи моделювання, які ґрунтуються на нечітких (неперервних) логіках.

2. Застосування методик, що базуються на використанні інтерполяційних моделей, дозволяє забезпечити необхідний рівень точності розрахунків та категоричності висновків експертного аналізу ДТП.

3. Підвищення рівня ефективності автотехнічної експертизи можна забезпечити на основі застосування сучасних інноваційних технологій.

Література

1. Статистика аварійності в Україні // Управління безпеки дорожнього руху Департаменту превентивної діяльності Національної поліції України. URL: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua-static/21.htm> (дата звернення 01.10.2018).

2. Не за склом: стан справ з ДТП в Україні за 2017 рік // AUTO.RIA.com™. URL: <https://auto.ria.com/uk/news/autolaw/236137/nezasteklom-kak-obstoyali-dela-s-dtp-v-ukraine-v-2017-godu.html> (дата звернення 03.10.2018).
3. М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. Методы принятия решений. Пер. с англ. под ред. И. И. Елисеевой. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 590 с.
4. Закон України «Про судову експертизу». Документ № 4038-12. Поточна редакція від 20.01.2018 : офіційний web-сайт Верховної Ради України. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4038-12> (дата звернення 05.11.2018)
5. Туренко А. М., Клименко В. І., Сараєв О. В., Данець С. В. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП: підручник для вищих навчальних закладів. Харків: ХНАДУ, 2013. 320 с.
6. Franck H., Franck D. Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective. Boca Raton: CRC Press, 2009. 328 p.
7. Struble D. Automotive accident reconstruction: practices and principles. Boca Raton: CRC Press, 2013. 498 p.
8. Steffan H. Accident reconstruction methods. Vehicle System Dynamics, 2009. Volume 47. Issue 8: State of the art papers of the 21st IAVSD symposium. P. 1049-1073.
9. Трофименко Н. С. Питання призначення та проведення деяких видів судових експертиз (за матеріалами узагальнення експертної практики). Вісник Академії митної служби України. Серія: «Право». Дніпропетровськ : АМСУ, 2013. № 1 (10). С. 107-112.
10. Kashkanov A. A. The influence of the choice of methods of emergency situations analysis on the categorical conclusions of auto-technician expert. Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis of International scientific and practical conference, May 2018, Rome, Italy. Executive editor: Chernetska-Biletska N. – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – P. 44-47.
11. Гартаковский Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Юридический центр Пресс, 2006. 268 с.
12. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии / С.-Петербург: СПбГАСУ, 2012. 310 с.
13. Дубовой В. М., Ковалюк О. О. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами : монографія. Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. 185 с.
14. Hoffmann A. G. Paradigms of Artificial Intelligence: a methodological and computational analysis. Singapore: Springer-Verlag, 1998. 234 p.
15. Konrad Reif; Karl-Heinz Dietsche & others. Bosch Automotive Handbook [Translated from

- the German]. – 9th Edition. Karlsruhe : Robert Bosch GmbH, 2014. 1544 p.
16. Волков В. П., Вильський Г.Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : Університетська книга, 2010. 320 с.
 17. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети: монография. Винница: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. 320 с.
 18. Копченова Н. В., Марон И. А. Вычислительная математика в примерах и задачах. Москва: «Наука», 1972. 367 с.
 19. Растринин Л. А. Вычислительные машины, системы, сети. Москва: «Наука», 1982. 223 с.
 20. Малпас Дж. Реляционный язык Пролог и его применение. Пер. с англ. под редакцией В. Н. Соболева. Москва: «Наука». 1990. 464с.
 21. Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. Энергия. Деформации. Разрушения (задачи автотехнической экспертизы) : Монография, Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 204 с.
 22. Кашканов А. А. Застосування нечіткої логіки в автомобільній автоматизації. Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. Харьков: ХНАДУ, 2003. № 13. С. 58-61.
 23. Кашканов А. А. 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. екрану. ISBN 978-966-641-740-7.
 24. Никонов В. Н. Классификация математических моделей ДТП и их допустимость в судебном процессе. Законность. М., 2007. № 5. С. 30–34.
 25. Cliff W.E., Moser A. Reconstruction of Twenty Staged Collisions with PC-Crash's Optimizer. SAE Paper №2001-01-05-07.
 5. Turenko A. M., Kly'menko V. I., Sarayev O. V., Danecz' S. V. (2013) *Avtotexnichna eksperty'za. Doslidzhennya obstavy'n DTP: pidruchny'k dlya vy'shhy'x navchal'ny'x zakladiv* [Autotechnical examination. Investigation of accident-related problems: textbook for higher education institutions]. Xarkiv: XNADU, 320 p. [in Ukrainian].
 6. Franck H., Franck D. (2009) *Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective*. Boca Raton: CRC Press. 328 p.
 7. Struble D. (2013) *Automotive accident reconstruction: practices and principles*. Boca Raton: CRC Press. 498 p.
 8. Steffan H. (2009) Accident reconstruction methods. *Vehicle System Dynamics*. Volume 47. Issue 8: State of the art papers of the 21st IAVSD symposium. P. 1049-1073.
 9. Trofy'menko N. S. (2013) Py'tannya pry'znachennya ta provedennya deyaky'x vy'div sudovy'x eksperty'z (za materialamy' uzagal'nennya ekspertnoyi prakty'ky') [Questions on the appointment and conduct of certain types of forensic examinations (based on summaries of expert practice)]. *Visny'k Akademiyi my'tnoyi sluzhby' Ukrayiny'. Seriya: «Pravo»*. Dnipropetrovs'k : AMSU, # 1 (10). P. 107-112.
 10. Kashkanov A. A. (2018) The influence of the choice of methods of emergency situations analysis on the categorical conclusions of auto-technician expert. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis of International scientific and practical conference*, May 2018, Rome, Italy. Executive editor: Chernetska-Biletska N. – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. – P. 44-47.
 11. Tartakovskij D. F. (2006) *Problemy neopredelenosti dannyh pri jekspertize dorozhno-transportnyh proisshestvij* [Problems of uncertainty of data in the examination of road traffic accidents]. SPb.: Juridicheskij centr Press. 268 p. [in Russian].
 12. Evtjukov S. A., Vasil'ev Ja. V. (2012) *Jekspertiza DTP: metody i tehnologii* [Examination of road accidents: methods and technologies]. S.-Peterburg: SPbGASU. 310 p. [in Russian].
 13. Dubovoj V. M., Kovalyuk O. O. (2008) *Modeli pry'nyattya rishen' v upravlinni rozpodileny'my'dy'namichny'my' sy'stemamy': monografiya* [Models of decision-making in the management of distributed dynamic systems: monograph]. Vinny'cya: Universum-Vinny'cya. 185 p. [in Ukrainian].
 14. Hoffmann A. G. (1998) *Paradigms of Artificial Intelligence: a methodological and computational analysis*. Singapore: Springer-Verlag. 234 p.
 15. Reif, K., Dietsche K.-H. & others. (2014). *Bosch Automotive Handbook. 9th Edition*. Translated from the German. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH. 1544 p.

Reference

1. Staty'sty'ka avarijnosti v Ukrayini [Upravlinnya bezpeky` dorozhn'ogo ruхu Departamentu preventy'vnoyi diyal'nosti Nacional'noyi policiyi Ukrayiny']. Available at: <http://www.sai.gov.ua/ua/ua/static/21.htm> (accessed 01.10.2018).
2. Ne za sklom: stan sprav z DTP v Ukrayini za 2017 rik [AUTO.RIA.com™]. Available at: <https://auto.ria.com/uk/news/autolaw/236137/ne-za-steklom-kak-obstoyali-dela-s-dtp-v-ukraine-v-2017-godu.html> (accessed 03.10.2018).
3. Jeddous M., Stjensfeld R. (1997) *Metody prinjatiya reshenij* [Decision-making methods], Transl. from Eng. (Audit, JuNITI, Moscow, 590 p.) [in Russian].
4. Zakon Ukrayiny` «Pro sudovu eksperty'zu». [Dokument # 4038-12. Potochna redakciya vid 20.01.2018 : oficijny'j web-sajt Verxovnoyi Rady` Ukrayiny']. Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4038-12> (accessed 05.11.2018).

16. Volkov V. P., Vil's'ky'j G.B. (2010) *Teoriya ruxu avtomobilya: pidruchny'k* [The theory of the car movement: a textbook]. Sumy': Univer-sy'tets'ka kny'ga. 320 p. [in Ukrainian].
17. Rotshteyn, A. P. (1999). *Intellektualnyie tehnologi identifikatsii: nechetkie mnozhestva, genetich-eskie algoritmyi, neyronnyie seti: monografiya* [Intellectual identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks: mono-graph]. Vinnitsa: «UNIVERSUM-Vinnitsya», 320 p. [in Russian].
18. Kopchenova N. V., Maron I. A. (1972) *Vychislitel'naja matematika v primerah i zadachah* [Computational Mathematics in Examples and Problems]. Moskva: «Nauka». 367 p. [in Russian].
19. Rastrigin L. A. (1982) *Vychislitel'nye mashiny, sistemy, seti* [Computers, systems, networks]. Moskva: «Nauka». 223 p. [in Russian].
20. Malpas Dzh. (1990) *Reljacionnyj jazyk Prolog i ego primenenie* [Relational language Prolog and its application], Transl. from Eng. (Nauka, Mos-cow, 463 p.) [in Russian].
21. Ogorodnikov V. A., Kiselev V. B., Sivak I. O. (2005) *Jenergija. Deformacii. Razrusheniya (zadachi avtotekhnicheskoy jekspertizy): Mono-grafija* [Energy. Deformations. Destruction (tasks autotechnical examination): Monograph]. Vinnica: UNIVERSUM-Vinnicja. 204 p. [in Russian].
22. Kashkanov A. A. (2003) *Zastosuvannya nechitkoyi logiky' v avtomobil'nij avtomaty'ci* [Application of fuzzy logic in automotive auto-mation]. *Avtomobil'nyj transport. Sbornik nauchnyh trudov*. Xarkiv: XNADU, # 13. P. 58-61.
23. Kashkanov A. A. (2018) *Texnologiyi pidvy'sh-hennya efekty'vnosti avtotekhnichnoyi eksperty'zy` dorozhn'õ-transportny'x pry`god: monografiya (Elektronny'j resurs)* [Technologies for increas-ing the efficiency of automotive examination of road accidents: monograph (Electronic resource)]. Vinny'cya : VNTU, 160 p. Ody'n elektron. opt. dy'sk (CD-ROM); 12 sm. Nazva z ty't. ekranu. ISBN 978-966-641-740-7.
24. Nikonov V. N. (2007) *Klassifikacija matematich-eskih modelej DTP i ih dopustimost' v sudebnom processe* [Classification of mathematical models of accidents and their admissibility in litigation]. *Zakonnost'*. Moscow. # 5. P. 30–34.
25. Cliff W.E., Moser A. (2001) *Reconstruction of Twenty Staged Collisions with PC-Crash's Optimizer*. SAE Paper №2001-01-05-07.

Кашканов Андрей Альбертович¹,

к.т.н., доцент, докторант, кафедра автомобілів ім. А.Б. Гредескула,
+38-063-322-59-62, a.kashkanov@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Mathematical methods of decision making in autotechnical expertise of traffic accidents

Abstract. Problem. Ensuring the safe operation of automotive technology is an urgent problem for many countries of the world. A large reserve in solving the problem of accidents in road transport is to improve the accuracy and objectivity of methods of analyzing traffic accident, identifying cause-effect relationships. Modern forensic engineering expertise requires the use of methods and technologies that provide not only the necessary accuracy of the calculations, but also allow comprehensively investigating the mechanism of traffic accidents. Despite the existence of a large amount of methodological literature and recommendations for investigating this category of cases, the problems of traffic accident examination that existed previously exist in Ukraine now, despite the best technical equipment, the introduction of specialization of investigators and the improvement of their training. **Goal.** The goal of the work is to formulate ways to improve the existing and build new methods for solving the problems of autotechnical expertise of traffic accidents to improve the accuracy of calculations and the categorical nature of expert conclusions. Methodology. The methodological basis of the work is the use of a systematic approach and analysis as a method of scientific knowledge to identify the causes of difficulties in applying mathematical methods that are traditionally used to solve the problems of autotechnical expertise of traffic accidents, and formulate ways to overcome them. **Results.** The main difficulties in solving the problems of autotechnical expertise of traffic accidents are due to the fact that an objective decision on the causes of the accident must be carried out in conditions of incomplete information that is in the conditions of uncertainty. In the absence of the possibility of using traditional mathematical methods based on identifying precise quantitative relationships, it is advisable to use approximate modeling methods based on fuzzy (continuous) logics (for example, the theory of fuzzy sets and linguistic variables) to investigate accidents under uncertainty. To increase the level of accuracy of calculations and categorical conclusions of expert analysis of accidents, methods should be used based on interpolation models, and models of extrapolation and probabilistic nature should be used as a source of versions of accidents. **Originality.** The systematic approach is given to substantiate the choice of methods for investigating emergency situations to improve the accuracy of calculations and the categorical nature of expert conclusions. **Practical value.** The ways of improving the methods of substantiating decisions in autotechnical expertise of accidents determined in research work can improve its level of effectiveness based on the use of modern innovative technologies. **Key words:** automobile, traffic safety, traffic accident, autotechnical expertise, mathematical methods, decision making.

Kashkanov Andrii¹, Ph.D., associate professor, doctoral student,
+38-063-322-59-62, a.kashkanov@gmail.com

¹Department of cars Kharkiv National Automobile and Highway University, 61002, Ukraine, Kharkiv, st. Yaroslav Wise, 25.

Математические методы обоснования решений в автотехнической экспертизе дорожно-транспортных происшествий

Аннотация. *Постановка проблемы.* Обеспечение безопасной эксплуатации автомобильной техники является актуальной проблемой для многих стран мира. Большим резервом в решении проблемы аварийности на автомобильном транспорте является повышение точности и объективности методов анализа дорожно-транспортных происшествий (ДТП), выявления причинно-следственных связей. Современная автотехническая экспертиза требует применения методов и технологий, которые обеспечивают не только необходимую точность выполняемых расчетов, но и позволяют всесторонне исследовать механизм дорожно-транспортных происшествий. Несмотря на существование большого количества методической литературы и рекомендаций по расследованию указанной категории дел, проблемы экспертизы ДТП, которые существовали ранее, существуют и сейчас в Украине, несмотря на лучшее техническое оснащение, ввод специализации следователей и улучшение их подготовки. **Цель.** Целью работы является формирование путей совершенствования существующих и построение новых методов решения задач автотехнической экспертизы ДТП для повышения точности расчетов и категоричности экспертных заключений. **Методика.** Методологической основой работы является использование системного подхода и анализа как метода научного познания для выявления причин возникновения трудностей применения математических методов, которые традиционно используются для решения задач автотехнической экспертизы ДТП, и формирования путей их

преодоления. **Результаты.** Основные трудности решения задач автотехнической экспертизы ДТП обусловлены тем, что принятие объективного решения о причинах аварии необходимо осуществлять в условиях неполноты информации, то есть в условиях неопределенности. При отсутствии возможности использования традиционных математических методов, основанных на выявлении точных количественных взаимосвязей, для исследования ДТП в условиях неопределенности целесообразно применять приближенные методы моделирования, основанные на нечетких (непрерывных) логиках (например, теорию нечетких множеств и лингвистических переменных). Для повышения уровня точности расчетов и категоричности выводов экспертного анализа ДТП следует использовать методики, в основе которых лежат интерполяционные модели, а модели экстраполяционного и вероятностного характера применять в качестве источника версий ДТП. **Научная новизна.** Дан системный подход к обоснованию выбора методов исследования аварийных ситуаций для повышения точности расчетов и категоричности экспертных заключений.

Практическая значимость. Определенные в исследовательской работе пути совершенствования методов обоснования решений в автотехнической экспертизе ДТП позволяют повысить уровень ее эффективности на основе использования современных инновационных технологий.

Ключевые слова: автомобиль, безопасность движения, дорожно-транспортное происшествие, автотехническая экспертиза, математические методы, обоснование решений.

Кашканов Андрей Альбертович¹,
к.т.н., доцент, докторант, +38-063-322-59-62,
a.kashkanov@gmail.com

кафедра автомобилей им. А.Б. Гредескула
¹Харьковский национальный автомобильно-
дорожный университет,
61002, Украина, г. Харьков,
ул. Ярослава Мудрого, 25.