УДК 656.13

• © Ю.В. Бабін,
• © О.С. Лесик,
• © С.М. Логвін,
• © Р.Ю. Нілов (ДП "ДержавтотрансНДІпроект")

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ НА НЕРУХОМОМУ КОЛІСНОМУ ТРАНСПОРТНОМУ ЗАСОБІ

Анотація. *Розглянуто методику проведення випробувань та особливості обробки результатів вимірювань значень рівня зовнішнього шуму на нерухомому транспортному засобі з оцінюванням невизначеності вимірювань. Проведено моделювання методом Монте-Карло. Отримана гістограма закону розподілу результатів вимірювань. Методом максимальної ентропії виконана її апроксимація експоненціальною функцією.*

Ключові слова: *колісний транспортний засіб; рівень зовнішнього шуму; невизначеність результатів вимірювань.*

Аннотация. *Рассмотрено методику проведения испытаний и особенности обработки результатов измерений значений уровня внешнего шума на неподвижном транспортном средстве с оценкой неопределенности измерений. Проведено моделирование методом Монте-Карло. Получена гистограмма закона распределения результатов измерений. Методом максимальной энтропии выполнена ее аппроксимация экспоненциальной функцией.*

Ключевые слова: *колесное транспортное средство; уровень внешнего шума; неопределенность результатов измерений.*

Annotation: *methodology for performing tests and processing results of external noise measurement of immobile vehicle (with assessment of measurement uncertainty) has been presented in the article. Simulation by using Monte-Carlo method has been carried out. The histogram for the law of allocation of measurement results has been obtained; its approximation via exponential function according to the maximum entropy method has been done.*

Key words: *wheeled vehicle; level of external noise; measurement uncertainty.*

Вступ

У всіх країнах світу автомобільний транспорт – це найпоширеніше джерело шуму, а також основна причина подразливого впливу на людину. За останнє десятиліття в Україні значно зріс парк автомобілів і щільність автомобільних потоків. Тому визначення рівня шуму автомобільного транспорту є однією зі складових регламентованих вимог сертифікації Української системи сертифікації продукції (УкрСЕПРО) при ввезенні колісних транспортних засобів на територію України та Державного технічного огляду під час експлуатації транспортних засобів.

Згідно із Законом України про "Метрологію та метрологічну діяльність" [1], результати вимірювань необхідно представляти через характеристики похибок або невизначеності вимірювань. Стандарт ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [2] регламентує представляти простежуваність результатів випробувань через характеристику невизначеності. Процедури випробувань щодо визначення рівня шуму на нерухомому колісному транспортному засобі (легкових і вантажних автомобілів та автобусів) визначена у міжнародному регламенті Правила ЄЕК ООН 51-02 [3] та національних стандартах ДСТУ UN/ECE R 51-02 [4] і ГОСТ 27436 [5].

Проведення випробувань колісних транспортних засобів є складним і ресурсоємним. Від результатів випробувань залежить їх допуск до експлуатації. Точність вимірювань має особливе

значення при прийнятті рішення щодо безпечності колісних транспортних засобів та допуску до експлуатації. Тому особливості оцінювання невизначеності вимірювань при проведенні випробовувань в автомобільній галузі є наразі нагальним та необхідними.

У нашій роботі розглянуто особливості обробки результатів визначення рівня шуму на нерухомих колісних транспортних засобах у процесі випробувань з оцінюванням невизначеності.

Методика випробувань

Стандарт [3, 4, 5] встановлює вимоги до майданчика випробувань, умов та засобів випробувань. Майданчик для випробувань повинен мати асфальтобетонне або цементобетонне покриттям, на відстані 3 м від колісного транспортного засобу не повинно бути об'єктів, які відбивають звук (**рис. 1**). Засоби вимірювань шуму для випробувань, за ДСТУ UN/ECE R 51-02 або Правил ЄЕК ООН 51-02, повинні відповідати вимогам, що передбачені у публікації МЕК 651 [6], а за ГОСТ 27436 повинні відповідати ГОСТ 17187 [7]. При вимірюванні шуму частота обертання колінчатого валу двигуна повинна складати ¾ його номінальної частоти. Після досягнення постійної частоти обертання колінчатого валу педаль подачі палива необхідно перевести в положення, яке відповідає мінімальній подачі. Рівень шуму вимірюють як у режимі з постійною частотою обертання, так і в режимі сповільнення частоти обертання колінчатого валу. За результат приймають максимальні покази шумоміра. Вимірювання шуму проводять не менше трьох разів у кожній точці. Результати вимірювань вважають дійсними, якщо різниця між трьома результатами не перевищує 2 дБ.

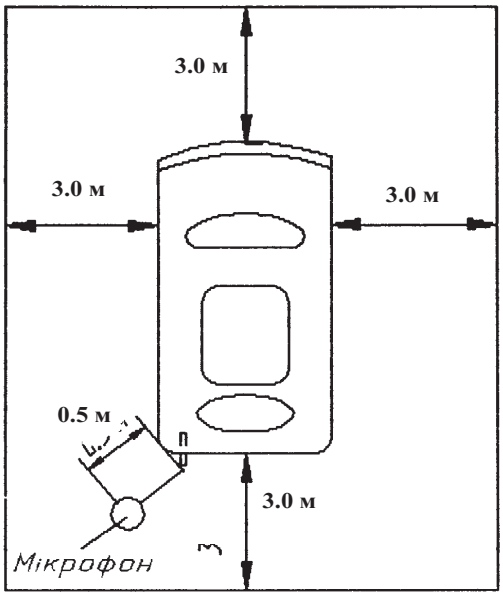

Рис. 1. **Схема вимірювання**

Оцінювання невизначеності результатів вимірювань

На основі Керівництва [8] розроблено процедуру оцінювання невизначеності вимірювання значень рівня шуму на нерухомому колісному транспортному засобі. Ця процедура передбачає такі етапи:

1) скласти специфікацію вимірювань (записати всі відомі дані щодо конкретного вимірювання (результати вимірювань, похибки вимірювань, коефіцієнти тощо);

2) записати рівняння вимірювання:

$$Y = \max[X_1, X_2, X_3]$$

де Y – результат вимірювання,

X_1, X_2, X_3 – результати трьох випробувань значення рівня шуму;

3) оцінювання вхідних величин проводять за результатами прямих одноразових вимірювань рівня шуму, проведених за допомогою шумоміра B&K 2236; при цьому отримують результати x_1, x_2, x_3;

4) оцінку результату вимірювання знаходять як

$$y = \max[x_1, x_2, x_3]$$

5) стандартні невизначеності вхідних величин оцінюють за типом А або типом Б:

- стандартні невизначеності типу А необхідно оцінити із закону розподілу максимальних значень результатів вимірювань;
- стандартні невизначеності типу Б оцінюють із меж невиключеної систематичної похибки засобу вимірювань, що використовують, припускаючи, що закон розподілу результатів вимірювань всередині меж рівномірний;

6) для прямих вимірювань усі коефіцієнти чутливості дорівнюють одиниці [9], тому всі вклади невизначеності вхідної величини в невизначеність вимірюваної величини дорівнюють стандартним невизначеностям вхідних величин;

7) визначення попарної коваріації вхідних величин: всі величини некорельовані;

8) обчислити сумарну стандартну невизначеність за формулою

$$u_c = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)}$$

9) коефіцієнт обхвату k визначають як коефіцієнт Стьюдента для ефективного числа ступенів свободи, який розраховують за формулою Велча-Саттерсвейта:

$$\upsilon_{eff} = (n-1)[u_c(y)/u_A(y)]^4$$

10) обчислити розширену невизначеність вимірюваної величини за формулою

$$U = ku_c(y)$$

11) скласти бюджет невизначеності за формою, наведеною в **табл. 1**.

Розглянемо оцінювання стандартної невизначеності типу А із закону розподілу максимальних

Таблиця 1

Бюджет невизначеності вимірювання

Вхідна величина X_i	Оцінка вхідної величини, x_i	Стандартна невизначеність $u(x_i)$	Число ступенів свободи υ_i	Розподіл імовірностей вхідної величини	Коефіцієнт чутливості c_i	Внесок невизначеності, $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	$n_i-1(\infty)$	Рівномірний	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	$n_i-1(\infty)$	Рівномірний	c_2	$u_2(y)$
…..	…..	…..	…..	…..	…..	……
X_n	x_n	$u(x_n)$	$n_i-1(\infty)$	Рівномірний	c_n	$u_n(y)$
Вихідна величина	**Оцінка вихідної величини**	**Сумарна стандартна невизначеність**	**Ефективне число ступенів свободи**	**Рівень довіри**	**Коефіцієнт покриття**	**Розширена невизначеність**
Y	y	$u(y)$	$\upsilon_{efф}$	P=0,95	k	U

значень результатів вимірювань. Закон розподілу максимальних значень результатів визначимо використовуючи моделювання методом Монте-Карло [10].

Алгоритм моделювання:

1) генерація трьох (за кількістю випробувань) результатів вимірювань, розподілених рівномірно із заданим середнім значенням і середнім квадратичним відхиленням;

2) вибір максимального значення із результатів вимірювань;

3) повтор кроків 1-2 не менше 10^5 раз для утворення масиву максимальних значень;

4) побудова гістограми для отриманого масиву даних;

5) визначення параметрів гістограми. Результат моделювання представлено на **рис. 2**.

Як видно із отриманої гістограми, закон розподілу максимальних значень результатів є асиметричною функцією типу, яка може бути описана експоненціальною функцією (**рис. 3**) виду [8, 11]:

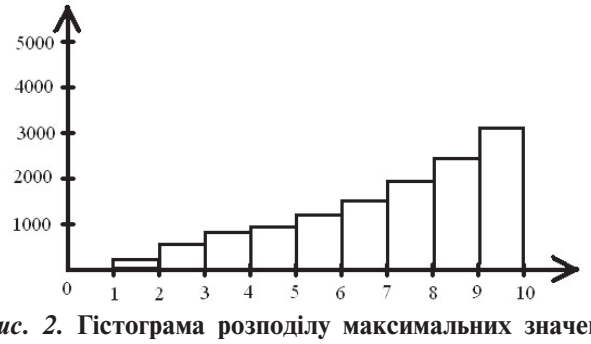

Рис. 2. **Гістограма розподілу максимальних значень результатів вимірювань**

$$f(X)=\begin{cases}0, & X\notin[a_-;a_+]\\ A\exp[-\lambda(X-x)], & X\notin[a_-;a_+]\end{cases} \qquad (1)$$

Керуючись умовами нормування

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx=1$$

маємо

$$A=-\lambda/(e^{-\lambda b_+}-e^{\lambda b_-})$$

Оптимальне відношення між параметрами A і λ будемо обирати, скориставшись принципом максимальної ентропії [7].

Ентропія експоненціального розподілу (1) буде

$$\begin{aligned}H(X)&=-\int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X)\ln f(X)dX=-\int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X)[\ln A-\lambda(X-x)X]dx=\\&=\left\{\ln A\int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X)dX+\lambda x\int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X)dX-\lambda\int_{x-b_-}^{x+b_+} X\cdot f(X)dX\right\}=\\&=-\ln A-\lambda x+\lambda x=-\ln A=\ln\frac{e^{\lambda b_-}-e^{-\lambda b+}}{\lambda}.\end{aligned} \qquad (2)$$

Максимум ентропії буде досягатись при $\frac{\partial H}{\partial\lambda}=0$

Після диференціації виразу (2) по λ та прирівняння результату до нуля, отримаємо

$$b_+e^{-\lambda b_+}+b_-e^{\lambda b_-}=\frac{e^{\lambda b-}-e^{\lambda b+}}{\lambda}=\frac{1}{A}$$

Із виразу (3) отримуємо такі два відношення

$$A=[b_-\exp(\lambda b_-)+b_+\exp(-\lambda b_+)]^{-1} \qquad (4)$$

$$\lambda=\frac{\exp[\lambda(b_++b_-)]-1}{b_-\exp[\lambda(b_++b_-)]+b_+} \qquad (5)$$

Дисперсія експоненціального розподілу буде

$$u^2(X) = \int_{x-b_-}^{x+b_+} f(X)(X-x)^2 dX = A\int_{x-b_-}^{x+b_+} e^{-\lambda(X-x)}(X-x)^8 dX = -\frac{A}{\lambda}\left(b_+^2 e^{-\lambda b_+} - b_-^2 e^{\lambda b_-}\right)$$

З урахуванням виразів (4) та (5) отримуємо

$$u(X) = \sqrt{b_+ b_- - (b_+ - b_-)/\lambda} \qquad (6)$$

Це значення стандартної невизначеності типу А використано в розрахунках сумарної стандартної невизначеності й розширеної невизначеності вимірювання рівня шуму нерухомого колісного транспортного засобу в процесі випробувань.

Висновки

1. Запропонована процедура обробки результатів вимірювань рівня шуму на нерухомому колісному транспортному засобі, яка відповідає вимогам міжнародних та українських стандартів і включає оцінювання стандартної сумарної та розширеної невизначеності вимірювань.
2. У результаті моделювання методом Монте-Карло отримано гістограму закону розподілу максимальних значень результатів вимірювань рівня шуму.
3. За допомогою методу максимальної ентропії отримано апроксимацію закону розподілу експоненціальною функцією, для якої визначено параметри та стандартну невизначеність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України № 1765-IV від 15.12.2004 р. “Про метрологію та метрологічну діяльність”.
2. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT).
3. Правила ЄЕК ООН № 51-02 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырех колес, в связи с произведенным ими шумом.
4. ДСТУ UN/ECE R 51-02:2004 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваного ними шуму.
5. ГОСТ 27436-87 Внешний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений.
6. Публикация МЕК 651 Шумомеры прецезионные.
7. ГОСТ 17187 Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний.
8. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. ISO, Geneva, First Edition. – 1995–101 р/ – Пер с англ. – СПб:ВНИИМ им.Менделеева, 1999–126 – 8 с.
9. Захаров И.П. Составление бюджета неопределенности прямых измерений / И.П. Захаров// Український метрологічний журнал. – 2004. – № 3 – С. 5-11.
10. Захаров И.П. Применение метода Монте-Карло для оценивания неопределенности в измерениях /И.П. Захаров, С.В. Водотыка// Системи обробки інформації: зб. наук. пр – Х.: ХУ ПС, 2008. – Вип. 4 (71). – С. 34-37.
11. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях/ И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Консум, 2002. – 256 с.

ЗАПУСК В УКРАЇНІ НОВОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПРОЕКТУ TRUCKFORCE

12 листопада 2010 р. компанія Goodyear Dunlop Tires оголосила запуск нового проекту TruckForce – європейської мережі сервісного обслуговування для комерційного транспорту. Нині в різних регіонах України почали роботу 16 точок, розташованих у Києві, Донецьку, Дніпропетровську, Харкові, Луганську, Сімферополі, Херсоні, Одесі, Вінниці, Тернополі, Луцьку, Ужгороді та Львові. До кінця цього року будуть охоплені всі основні транспортні артерії країни, а кількість центрів збільшиться до двадцяти. Для реалізації цього проекту було обрано логістичного партнера, що здійснює дистрибуцію по Україні – компанія “Омега-Автопоставка” (м. Харків). Логістичне забезпечення TruckForce в Україні – завдання надскладне і відповідальне, для цих цілей на базі оператора було сформовано найбільший в Україні товарний запас шин. У представленому концепті присутні дві торгові марки: “TruckForce”, яка належить компанії Goodyear Dunlop Tires і “Дорожня карта”, власна розробка “Омега”. Концепт TruckForce в Україні буде представлений під назвою “DK – TruckForce”.

Компанія Goodyear Dunlop Tires володіє найпотужнішою сервісною інфраструктурою для обслуговування комерційного транспорту в Європі (сьогодні функціює понад 1600 центрів). Комплекс унікальних послуг, що складається з мережі шинних центрів TruckForce, цілодобової служби технічного асистансу та системи комп’ютерного менеджменту FleetOnlineSolutions зможуть повністю забезпечити операторів комерційного автотранспорту гарантованим сервісом на всіх основних трасах і магістралях не лише України, а й Європи. Відкриття шинних центрів TruckForce у нашій країні є частиною реалізації глобальної європейської стратегії Goodyear – Fleet First – “Парки вантажного і пасажирського транспорту першочергові”. Амбітна програма Fleet First передбачає широку низку послуг і продуктів, необхідних комерційному транспорту. Основна ідея – мінімізувати витрати автопарків і зробити їх роботу ефективнішою. Завдяки продуманому підходу, компанія Goodyear Dunlop Tires забезпечує індустрію вантажного і пасажирського транспорту системним комплексним пакетом послуг, створених спеціально для автопарків і здатних задовольняти будь-які індивідуальні потреби кожного перевізника.