МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО−ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

Жарко Юрій Григорович

УДК 629.10.1

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕДУР ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПІД ЧАС СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

05.01.02 – Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.
Роботу виконано в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Захаров Ігор Петрович,
Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри метрології та вимірювальної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
Купко Олександр Данилович
Національний науковий центр "Інститут метрології" м. Харків, провідний науковий співробітник

кандидат технічних наук,
Поляков Євген Олександрович
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, асистент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності

Захист дисертації відбудеться «01» жовтня 2015 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.108.04 в Український інженерно-педагогічній академії за адресою: 61003, м. Харків, вул. Університетська, 16.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української інженерно-педагогічної академії: 61003, м. Харків, вул. Університетська, 16.

Автореферат розісланий «31» серпня 2015 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради А.С. Гордєєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Колісні транспортні засоби (КТЗ) відіграють величезну роль в економіці будь-якої країни. Високі темпи автомобілізації в світі пояснюються великою ефективністю, автономністю і мобільністю автомобіля в порівнянні з іншими видами транспорту. До негативних факторів автомобілізації відносяться дорожньо-транспортні пригоди та їх наслідки, а так само забруднення навколишнього середовища. З ціллю мінімізації цих факторів КТЗ повинні підлягати сертифікаційним випробуванням за параметрами конструктивної безпеки (КБ), до яких відносяться параметри гальмівної та рульової систем, шкідливих викидів в атмосферу, радіозавад, акустичних шумів, тощо.

Світова автомобільна промисловість висуває вимоги до якості КТЗ, продуктивності, конкурентоспроможності для відповідності зростаючому світовому рівню якості. Для досягнення цієї мети автомобілебудівники наполягають на тому, щоб постачальники суворо дотримувалися технічних специфікацій, викладених у стандарті менеджменту якості для постачальників автомобільної промисловості, відомому як ISO/TS 16949. На території України діє ДСТУ ISO/TS 16949:2005 «Системи управління якістю. Специфічні вимоги до виробників автотранспортних засобів та запасних частин і приладдя до них щодо застосування ISO 9001:2000», який наказує організаціям визначати номенклатуру вимірювань та встановлювати перелік пристроїв для моніторингу та засобів вимірювань, які необхідні для забезпечення відповідності цієї продукції встановленим вимогам. Цей документ є альтернативою національним стандартам для постачальників автотранспорту та його складових частин. Сертифікація за цим стандартом дозволяє отримати єдиний міжнародний сертифікат замість безлічі сертифікатів щодо кожного з національних стандартів. Відповідно до цього стандарту, свідченням прийнятності випробувальної лабораторії для споживача є її акредитація за міжнародним стандартом ISO/IEC 17025:2005, яка передбачає необхідність наявності процедур оцінювання невизначеності вимірювань (НВ), що проводяться в акредитованих випробувальних лабораторіях. Слід зазначити, що, незважаючи на наявність великої кількості методик випробувань КТЗ, серед них відсутні процедури з оцінювання НВ, які для КТЗ мають свої специфічні особливості.

Отже задача створення та удосконалення процедур оцінювання НВ під час випробувань КТЗ за параметрами КБ є не тільки важливою та актуальною, але й життєво необхідною, а її вирішення є доцільним і своєчасним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась протягом 2008 – 2015 рр. на кафедрі метрології та вимірювальної техніки Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) і пов’язана з виконанням держбюджетної теми № 230-6 «Електромагнітний моніторинг навколишнього середовища» (номер державної реєстрації 0109U002572).

Метою дисертаційної роботи є удосконалення методик випробування колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки шляхом розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань.

У відповідності до мети були поставлені і вирішені наступні **задачі**:

1. Провести аналіз нормативних документів та науково-технічної літератури щодо методів сертифікаційних випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки, здійснити класифікацію методів вимірювань, які використовуються під час цих випробувань, виявити джерела невизначеності вимірювань за кожним методом.
2. Удосконалити відомі методи оцінювання невизначеності вимірювань відповідно до невирішених раніш специфічних задач, які виникають під час випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки.
3. Здійснити типізацію процедур оцінювання невизначеності вимірювань під час випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки.
4. Розробити процедури оцінювання невизначеності вимірювань параметрів конструктивної безпеки колісних транспортних засобів, які включають до себе моделі вимірювань, математичні вирази та бюджети невизначеності.
5. Впровадити результати досліджень у випробувальних лабораторіях, що є акредитованими за стандартом ISO/IEC 17025:2005, а також у навчальному процесі.

Об'єктом дослідження є процес випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки.

Предметом дослідження є методи оцінювання невизначеності вимірювань під час випробувань колісних транспортних засобів.

Методи дослідження. В основу роботи покладені теоретичні методи досліджень, що ґрунтуються на основах теорії ймовірності та математичної статистики – для удосконалення існуючих методів опрацювання результатів та оцінювання невизначеності вимірювань; теорії точності − для розробки процедур оцінювання невизначеності вимірювань параметрів конструктивної безпеки під час випробувань колісних транспортних засобів; методи статистичного моделювання – для перевірки достовірності розроблених положень.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Для методів вимірювань параметрів конструктивної безпеки під час випробувань колісних транспортних засобів вперше здійснена типізація процедур оцінювання невизначеності вимірювань за ознаками доцільності використання статистичних оцінок невизначеності вимірювань та описової статистики, що обирається у якості вимірюваного значення, що дало змогу для різних типів процедур навести математичний апарат та надати рекомендації щодо його застосування.

2. Удосконалено моделі вимірювання параметрів конструктивної безпеки шляхом урахуванням всіх вхідних величин, які впливають на результат вимірювань, на основі яких вперше отримано математичні вирази для оцінок стандартної сумарної та розширеної невизначеності вимірювань параметрів конструктивної безпеки під час випробувань колісних транспортних засобів.

3. Вперше отримано оцінки невизначеності вимірювань за типом *А* максимального значення декількох вимірювань, проведено порівняння їх ефективності при розрахунках через формулу Беселя та через розмах вибірки в залежності від числа вимірювань, за рахунок чого вперше розроблено процедури невизначеності рівня радіоелектричних завад від системами запалювання та зовнішніх шумів нерухомих колісних транспортних засобів.

Практичне значення отриманих результатів

1. Розроблено процедури оцінювання НВ під час випробувань КТЗ за параметрами гальмування, внутрішніх та зовнішніх шумів, димності відпрацьованих газів та рівня радіоелектронних завад, які використані у акредитованих випробувальних лабораторіях КТЗ (випробувальні лабораторії Державного випробувального центру “Електромаш”, ДП “Харківстандартметрологія”, ПАТ "Діамант" з іноземними інвестиціями).

2. Розроблено процедури оцінювання НВ при випробуваннях міського електротранспорту ПРО 5–01–11 «Процедура оцінювання НВ прискорення (сповільнення) згідно з методикою СОУ-Н 74.30 – 03363588.0017/053:2010», ПРО 12–01–11 «Процедура оцінювання НВ радіозавад згідно з методикою СОУ-Н 74.30 – 03363588.0017/007:2010», ПРО 14-01-11 «Процедура оцінювання НВ гальмівного шляху та швидкості початку гальмування згідно методики СОУ-Н 74.30-03363588.0017/052: 2010», ПРО 16–01–11 «Процедура оцінювання НВ внутрішнього та зовнішнього рівнів шуму згідно з методикою СОУ-Н 74.30 – 03363588.0017/010:2010 (Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства, м. Київ).

3. Розроблено бюджети НВ, які є основою автоматизації оцінювання НВ у випробувальних лабораторіях під час випробувань КТЗ за параметрами КБ.

4. Результати дисертаційної роботи були використані в навчальному процесі ХНУРЕ при проведенні лекцій та практичних занять з курсу «Оцінка точності методів вимірювань».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є закінченим виконаним самостійно науковим дослідженням. Внесок автора в загальні праці: у [3] – запропоновано процедура оцінювання НВ під час визначення рівня радіоелектронних завад від систем запалювання автотранспортних засобів; у [4] – запропоновано процедура оцінювання НВ під час дослідження рівня димності відпрацьованих газів; у [5] – запропоновано процедура оцінювання НВ вимірювань тормозного шляху транспортних засобів; у [6] – запропоновано формула для оцінювання НВ під час

оцінювання відповідності параметра КТЗ заданому значенню; у [7] – процедура оцінювання НВ під час випробувань КТЗ за рівнем зовнішніх та внутрішніх шумів; у [8] – проведено оцінювання НВ максимального значення параметра випробувань, що спостерігається.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи повідомлені, обговорені та схвалені на 8 міжнародних та 3 регіональних науково-технічних конференціях та семінарах: 5-а Міжнародна молодіжна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій РТ-2009» (Севастополь, 2009); Науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків-Київ, 2010); 1-а науково-практична конференція «Інформаційно-вимірювальні технології, технічне регулювання та менеджмент якості» (Одеса, 2010); Міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія та вимірювальна техніка» (Харків, 2011); Регіональна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування (Харків, 2013); 3-я Міжнародна науково-технічна конференція «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи» (Івано-Франківськ, 2014); V, VI, IX, X та XII Міжнародний науково-технічний семінар «Невизначеність вимірювань: наукові, прикладні, нормативні та методичні аспекти» (м. Судак, 2008; Созопіль, Болгарія, 2009; Харків, 2010; Бельско-Бяло, 2012; Софія, Болгарія, 2015).

Публікації. Основні теоретичні і практичні результати дисертації опубліковані в 8 статтях, з них 7 – у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженому ВАК України, три з яких включено до наукометричної бази даних «Index Copernicus» та 1 стаття у закордонному журналі.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури зі 102 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 153 сторінки машинописного тексту, у тому числі 134 сторінки основного тексту з 20 рисунками і 28 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, зазначено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, сформульовано мета і задачі досліджень, наукова новизна і практична значимість отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз нормативних документів (НД) та науково-технічної літератури, що стосується випробувань КТЗ за параметрами КБ. Безпека дорожнього руху характеризує одну з основних якостей КТЗ згідно з ДСТУ 3649:2010. КБ КТЗ умовно поділяють на активну, екологічну та пасивну, з яких найважливішими є дві перших, оскільки вони визначають безпеку життєдіяльності та населення та охорону довкілля.

Активна безпека − сукупність технологічних розробок і комплексу властивостей КТЗ, покликаних запобігти можливу аварійну ситуацію або звести її

появу до мінімуму. Одними з основних властивостей КТЗ при забезпеченні його активної безпеки є гальмівні властивості, які визначаються при випробуваннях за значенням гальмівного шляху та (або) усталеного уповільнення (ДСТУ 2886-94, ДСТУ 2919-94). При цьому до допоміжних параметрів (вхідних величин) відносяться: швидкість гальмування, гальмівна сила, час гальмування; маса транспортного засобу, клас шин; тиск в шинах; сумарний кутовий зазор в рульовому управлінні, кут повороту рульового колеса, частота обертання двигуна. При випробуваннях гальмівних систем границя допустимої основної похибки не повинна перевищувати під час вимірювання: гальмівного шляху ± 5,0 %; початкової швидкості гальмування ± 1,0 км/год; гальмівної сили ± 3,0 %; зусилля на органі управління ± 7,0 %; часу спрацьовування гальмівної системи ± 0,03 с; часу запізнювання гальмівної системи ± 0,03 с; часу наростання уповільнення ± 0,03 с; усталеного уповільнення ± 4,0 %; маси транспортного засобу ± 3,0 %.

Екологічна безпека досягається обмеженням випромінювань і виділень від КТЗ, які надають негативний вплив на учасників дорожнього руху і навколишнє середовище: шкідливих викидів в атмосферу, шумів та радіозавад.

При дослідженні викидів в атмосферу для визначення димності, видимих викидів, оксиду вуглецю і вуглеводнів оцінюваними параметрами є коефіцієнт поглинання або коефіцієнт ослаблення світлового потоку (ДСТУ 4277-2004, ДСТУ UN-ECE R 24-03-2002). Допоміжні параметри: щільність вихлопних газів, номінальна витрата газів.

Вплив шумів на організм людини може призводити до повної або часткової втрати слуху, порушення сну, розладів центральної нервової, ендокринної та серцево-судинної систем. Ці негативні наслідки призводять до необхідності регламентації параметрів інтенсивності, спектрального складу, часу дії шумів КТЗ, а також контролю над їх виконанням. Аналіз стандарту ГОСТ 31296.1-2005, показує, що шуми, які присутні на КТЗ можна класифікувати: за містом визначення − на внутрішній і зовнішній; за способом передачі − на аеродинамічний і механічний; за спектром − на широкосмуговий, тональній та низькочастотний; за часовими характеристиками − на неперервний (постійний та флюктуючий) і непостійний (імпульсній і переривчастий); за джерелами, що враховують − на загальний, остаточній, начальній, відомий. Характеристиками інтенсивності шуму є: звуковий тиск (Па), що визначає звуковий стан навколишнього середовища джерела звуку; звукова потужність (Вт), що характеризує джерело звуку; інтенсивність звуку ($Вт/м^2$), що визначається, як середня потужність звуку, що проходить через одиницю поверхні в заданому напрямку. Зовнішні та внутрішні шуми вимірюються згідно ДСТУ UN-ECE R 51-02-2002. Допоміжними параметрами при такому випробуванні є число обертів двигуна, габарити транспортного засобу, температурні параметри, параметри навколишнього середовища, характеристики дорожнього покриття, атмосферний тиск.

При роботі системи електрообладнання автомобіля між електродами розподільника і свічкою запалення, контактами електричних приладів, а також між щітками і колектором генератора і електродвигунів створюється іскріння, що є причиною виникнення високочастотних електромагнітних хвиль, які створюють перешкоди, які погіршують прийом радіо- і телевізійних передач і заважають роботі радіолокаційних установок. Особливо сильні перешкоди створює система запалювання. Стандарт ДСТУ UN ECE R10-01:2002 встановлює межі випромінювання, засновані на вимірюваннях в смузі квазімаксімальних частот від 40 МГц до 75 МГц на рівні 50 мкв/м з лінійним зростанням від 50 мкВ/м до 120 мкВ/м в смузі від 75 МГц до 250 МГц. При цьому виміряні величини повинні бути нижче контрольних на 20 % для типу транспортного засобу, представленого на офіційне затвердження щодо придушення радіоелектронних перешкод. Допоміжними параметрами при проведенні випробувань є: висота антени, частота вимірювання.

Проведено аналіз методів вимірювання параметрів КБ під час випробування КТЗ, на основі якого проведена їх класифікація в залежності від виду модельного рівняння, кількості вимірювань, які виконуються під час випробувань та параметра вимірюваної величини, який при цьому оцінюється.

В другому розділі були розглянуті питання оцінювання НВ. Основними підходами до оцінювання НВ є модельний та емпіричний. Найбільш розповсюдженим є модельний підхід, який дозволяє аналізувати джерела невизначеності вимірювань та здійснювати менеджмент розширеної невизначеності вимірюваної величини згідно до реальних потреб сертифікації. Модельний підхід може здійснюватися за законом розповсюдження невизначеностей та законом розповсюдження законів розподілів. Останній підхід є більш вірогідним, але потребує використання спеціального програмного забезпечення, тому у дисертаційному дослідженні розробка процедур оцінювання НВ здійснюється на основі першого підходу а другий − використовується для перевірки достовірності розроблених положень.

На основі розробленої в першому розділі класифікації методів вимірювань параметрів КБ була здійснена типізація процедур оцінювання НВ, які повинні використовуватися під час випробувань КТЗ. Ці процедури розрізняються в залежності від доцільності використання статистичних оцінок НВ та описової статистики, що обирається у якості вимірюваного значення.

Для одноразових вимірювань, для яких неможливо використовувати статистичні методи оцінювання, наведено типову процедуру оцінювання НВ. Основною трудністю при цьому є обчислення коефіцієнтів охвату k при наявності декількох вкладів невизначеності.

В табл. 1 наведено узагальнені коефіцієнти для трьох вкладів НВ. Вклади невизначеності u_1 та u_3 розподілені за рівномірним законом. Вклад u_2 може бути

розподілений або за рівномірним, або за нормальним законом. Відносна похибка від такого узагальнення не перевищує ± 2 %, але таблиця стає універсальною. Вклад u_2 може містити в себе декілька вкладів невизначеності, розподілених за нормальним законом. В цьому випадку u_2 розраховується через невизначеності часткових вкладів за законом розподілення невизначеності.

Таблиця 1 − Залежність коефіцієнту охвату від співвідношення вкладів НВ

u_3/u_1	u_2/u_1										
	0	**0,1**	**02**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1,0**
0	1,65	1,65	1,70	1,75	1,80	1,83	1,86	1,88	1,89	1,91	1,92
0,1		1,68	1,70	1,75	1,80	1,83	1,86	1,88	1,89	1,91	1,92
0,2			1,75	1,78	1,81	1,84	1,86	1,88	1,89	1,91	1,92
0,3				1,82	1,84	1,86	1,87	1,89	1,90	1,92	1,93
0,4					1,87	1,88	1,88	1,91	1,90	1,92	1,93
0,5						1,90	1,90	1,92	1,91	1,92	1,94
0,6							1,91	1,93	1,92	1,93	1,94
0,7								1,93	1,93	1,94	1,94
0,8									1,93	1,94	1,94
0,9-1										1,94	1,94

Для дворазових вимірювань, для яких використовувати статистичні методи оцінювання НВ недоцільно, оскільки оцінки стандартних невизначеностей за типом *A* в цьому випадку будуть зміщеними та матимуть велике власне стандартне відхилення, наведено типову процедуру. В цьому випадку стандартні невизначеності середніх арифметичних двократних вимірювань доцільно розраховувати через допустимі межі збіжності, які наведено у методиках вимірювань, та коефіцієнт критичного діапазону (ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-6:2005). Коефіцієнт охвату буде розраховуватися за допомогою даних табл. 1.

При наявності багаторазових вимірювань для кількості $n \geq 3$, з використанням їх середнього арифметичного у якості вимірюваного значення, отримуємо ситуацію, яка описана у базовому алгоритмі GUM. В цьому випадку у якості коефіцієнту охвату GUM рекомендує брати коефіцієнт Стьюдента для ефективного числа степенів свободи, яке розраховується за допомогою формули Велча-Саттерсвейта.

При багаторазових вимірюваннях ($n \geq 3$) та використанні їх максимуму у якості вимірюваного значення, процедура оцінювання стандартних НВ за типом *A* у літературі не описана. Для вирішення цієї задачі була використана формула для функції розподілу членів впорядкованої вибірки спостережень:

$$G(x) = \frac{n}{(k-1)\cdot(n-k)} \int_0^{F(x)} y^{q-1}(1-y)^{n-q}\, dy \ , \qquad (1)$$

де $n \geq 3$ − число елементів вибірки, q − номер досліджуваного члена вибірки, $F(x)$ − функція розподілу результатів спостережень, з яких формується вибірка. Оскільки закон розподілу результатів випробувань невідомий, на підставі рекомендацій GUM була прийнята гіпотеза про рівноймовірність їх знаходжень в інтервалі [a; b], для якої з виразу (1) було отримано щільність ймовірності $x_{\max}$ за формулою:

$$g\left(x_{\max}\right) = \frac{n\left(x-a\right)^{n-1}}{\left(b-a\right)^{n}}. \tag{2}$$

Вираз (2) дозволив одержати формули для математичного сподівання $x_{\max}$:

$$M\left(x_{\max}\right) = b - \frac{b-a}{n+1}. \tag{3}$$

та дисперсії $x_{\max}$:

$$D\left(x_{\max}\right) = \frac{n}{\left(n+1\right)^{2}\left(n+2\right)} \cdot \left(b-a\right)^{2}. \tag{4}$$

З формули (4) було знайдено оцінку середнього квадратичного відхилення (СКВ) $x_{\max}$ у вигляді:

$$S\left(x_{\max}\right) = \sqrt{\frac{12n}{\left(n+1\right)^{2}\left(n+2\right)}} S\left(x\right) = \frac{S\left(x\right)}{\alpha}, \tag{5}$$

яка є стандартною невизначеністю, знайденої статистичним методом (за типом *A*).

Слід зазначити, що оцінку СКО $S\left(x\right)$ за результатами випробувань можна отримати різними способами. У найпростішому випадку можна скористатися формулою Бесселя, яка дає ефективну оцінку $S\left(x\right)$ для нормального закону розподілу. У цьому випадку оцінка стандартної невизначеності за типом *A* буде дорівнювати:

$$u_{\mathrm{A1}}\left(x_{\max}\right) = \frac{1}{\alpha}\sqrt{\frac{1}{\left(n-1\right)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{1}-\overline{x}\right)^{2}}. \tag{6}$$

Відповідно до методу Ллойда за способом найменших квадратів, А. Сарханом і Б. Грінбергом знайдена ефективна для рівномірної моделі розподілу оцінка $S\left(x\right)$, яка являє собою функцію тільки екстремальних значень результатів випробувань $x_{\max}$ та $x_{\min}$. В цьому випадку:

$$u_{\mathrm{A2}}\left(x_{\max}\right) = \sqrt{\frac{n}{\left(n+2\right)}} \frac{\left(x_{\max}-x_{\min}\right)}{\left(n-1\right)}. \tag{7}$$

Оскільки розподіл $x_{\max}$ відмінний як від рівномірного, так і від нормального, методом Монте-Карло (ММК) було проведено порівняння ефективності оцінок (6) та (7) для різних *n*. Алгоритм порівняння полягає у виконанні наступних кроків:

1. Формування масиву випадкових чисел, що містить $M = 10^{6}$ вибірок обсягом

n кожна, розподілених за рівномірним законом.

2. Оцінювання стандартної невизначеності за типом *A* для кожної вибірки масиву за формулами (6) і (7). Утворення масивів $u_{A1}(x_{max})$ та $u_{A2}(x_{max})$ обсягами *M*.

3. Обчислення дисперсій оцінок (6) та (7) за отриманими масивам та визначення їхнього відношення γ, яке визначає їх порівняльну ефективність. Результати обчислення γ для різних *n* наведено в табл. 2.

Аналіз табл. 2 показує, що для $n \le 4$ ефективної оцінкою стандартної невизначеності за типом *A* є формула (6), а для $n \ge 5$ − формула (7).

Таблиця 2 − Залежність відношень дисперсій γ оцінок СКВ (6) та (7) від *n*

n	γ	*n*	γ	*n*	γ
2	0,67	5	1,01	8	1,29
3	0,71	6	1,12	9	1,37
4	0,94	7	1,18	10	1,46

В третьому розділі були розглянуті питання розробки процедур оцінювання НВ параметрі КБ під час випробувань КТЗ без використання статистичних оцінок невизначеності.

Найпростішим та найрозповсюдженим прикладом таких вимірювань є одноразові вимірювання, які використовуються для знаходження оцінок НВ більшості параметрів активної та пасивної безпеки, які розглянуто у розділі 1. На основі типової процедури, розглянутої в розділі 2, були розроблені процедури оцінювання невизначеності одноразових вимірювань температури нагрівання електрообладдя, температури та рівня освітленості пасажирського салону та відділення водія міського електротранспорту; пласких кутів нахилів підлоги, пандуса для посадки пасажирів в крісла-колясках, дверцят бортових відсіків під час проведення випробувань тролейбуса.

В ряді методик випробувань проводиться двократні вимірювання параметру, що контролюється. Оцінка стандартної невизначеності за типом *A* в цих випадках є ненадійною, тому стандартна невизначеність, обумовлена можливим розкидом результатів цих випробувань знаходиться через нормовані характеристики їх збіжності. Найбільш розповсюдженим прикладом таких вимірювань є визначення довжини гальмівного шляху через обчислення на основі результатів вимірювання установленого уповільнення $j_{уст}$, часу запізнювання гальмівної системи $\tau_з$ і часу наростання уповільнення $\tau_н$ при завданні початкової швидкості гальмування V_0 (ДСТУ 3649:2010).

Основні параметри КТЗ при гальмуванні зображені на гальмівний діаграмі (рис. 1), яка являє собою залежність уповільнення КТЗ j від часу гальмування τ.

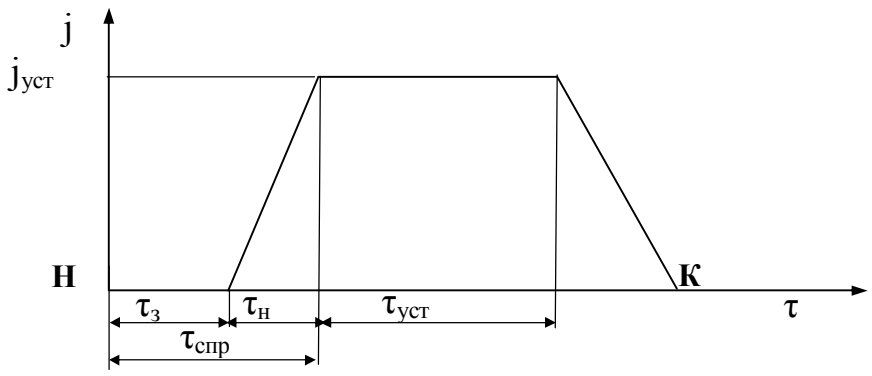

Рисунок 1 − Гальмівна діаграма: $\tau_{спр}$ − час спрацювання тормозної системи; $\tau_{уст}$ − час установлення уповільнення; н та к − початок та кінець гальмування, відповідно.

В загальному випадку модельне рівняння для знаходження гальмівного шляху буде мати наступний вигляд:

$$S_T = V_0\left(\tau_З + 0{,}5\tau_H\right) + \frac{V_0^2}{2j_{уст}}. \qquad (8)$$

Як слідує з методики випробувань, параметри $j_{уст}$, $\tau_з$ та $\tau_н$ визначають як середнє арифметичне, отримане за результатами двох гальмувань (в протилежних напрямках) (табл. 3).

Таблиця 3 − Бюджет невизначеності вимірювання гальмівного шляху КТЗ

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Коефіцієнт чутливості, c_i	Внесок невизначеності
V_0	$\hat{V}_0$	$u(\hat{V}_0)=\theta_V/\sqrt{3}$	$c_0=(\tau_з+0{,}5\tau_н)+V_0/j_{уст}$	$c_0\cdot u(\hat{V}_0)$
$j_{уст}$	$\bar{j}_{уст}=\frac{j_{уст1}+j_{уст2}}{2}$	$u(\bar{j})=2\delta\bar{j}/(2{,}77\cdot 100)$	$c_j=V_0^2/\left(2j_{уст}^2\right)$	$c_j\cdot u(\bar{j}_{уст})$
		$u_B(j_{уст})=\gamma_{уст}j_{max}/(100\sqrt{3})$		$c_j\cdot u_B(j_{уст})$
$\tau_з$	$\tau_з=\frac{\tau_{з1}+\tau_{з2}}{2}$	$u(\bar{\tau}_З)=2\delta\bar{\tau}_з/(2{,}77\cdot 100)$	$c_з=V_0$	$c_з\cdot u(\bar{\tau}_з)$
		$\theta_з/\sqrt{3}$		$c_з\cdot u_B(\tau_з)$
$\tau_н$	$\tau_н=\frac{\tau_{н1}+\tau_{н2}}{2}$	$u(\bar{\tau}_н)=2\delta\bar{\tau}_н/(2{,}77\cdot 100)$	$c_н=V_0/2$	$c_н\cdot u(\bar{\tau}_н)$
		$\theta_н/\sqrt{3}$		$c_н\cdot u_B(\tau_н)$
Вимірю-вана величина	Оцінка вимірюваної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт покриття	Розширена невизначеність
$S_т$	(8)	(10)	k	(11)

Зважаючи на малу кількість спостережень, оцінки стандартної невизначеності за типом *А* вхідних величин будуть ненадійними і в цьому випадку їх краще

визначати через СКВ збіжності, знайдене за типом *B* виходячи з вимоги ДСТУ 3649:2010, що відносна різниця між будь-яким виміряним значенням і їх середнім δ не повинна бути більше, ніж 10% (табл. 3).

У відповідності до ДСТУ 3649:2010 похибка вимірювань не повинна перевищувати при визначенні: початкової швидкості гальмування $\theta_V = 0,42$ м/с; часів спрацьовування гальмівної системи, запізнювання та зростання $\theta_{ср} = \theta_з = \theta_н = 0,01$ с; встановленого уповільнення $\gamma_{уст}$ =4,0 % (приведена похибка), тому стандартні невизначеності за типом *B* у припущенні рівномірного закону розподілу вхідних величин будуть визначатися як наведено в табл. 3.

Коефіцієнти чутливості c_i знаходяться як часткові похідні вихідної величини $S_т$ по кожній з вхідних величин, які оцінені при значеннях вхідних величин (табл. 3). Внесок невизначеності $u_i(y)$ кожної вхідної величини в невизначеність вимірюваної величини визначають як добуток коефіцієнта чутливості c_i на стандартну невизначеність цієї вхідної величини $u(x_i)$ (табл. 3):

$$u_i(S_т) = c_i \cdot u(x_i). \tag{9}$$

Оскільки вхідні величини некорельовані, то стандартна сумарна невизначеність вимірюваної величини буде визначатися з виразу:

$$\begin{aligned} u^2(S_т) = &\left[c_0 \cdot u_B(V_0)\right]^2 + \left[c_j \cdot u(\overline{j}_{уст})\right]^2 + \left[c_j \cdot u_B(j_{уст})\right]^2 + \\ &\left[c_з \cdot u(\overline{\tau}_з)\right]^2 + \left[c_з \cdot u_B(\tau_з)\right]^2 + \left[c_н \cdot u(\overline{\tau}_н)\right]^2 + \left[c_н \cdot u_B(\tau_н)\right]^2. \end{aligned} \tag{10}$$

Розширена невизначеність обчислюється за формулою:

$$U(S_т) = k \cdot u(S_т), \tag{11}$$

де k − коефіцієнт охвату.

Проведений в роботі аналіз бюджету невизначеності вимірювання гальмівного шляху КТЗ типу М1 показує, що найбільший внесок у невизначеність вимірювань гальмівного шляху вносять неточність вимірювання початкової швидкості і усталеного уповільнення. В цьому випадку коефіцієнт охвату обчислюється для трапецеїдального закону розподілу та згідно з даними табл. 1 буде дорівнювати 1,92.

Другим прикладом є вимірювання шуму від рухомого КТЗ, яке вважається дійсним, якщо відхилення між двома послідовними вимірюваннями з одного і того ж боку КТЗ не перевищує 2 дБА. Характеристичний рівень звуку, з урахуванням поправок на додаткові похибки вимірювального приладу в діапазоні температур δ_T та відхилення напруги споживання $\delta_Д$, розраховують за формулою:

$$L_R = (1-K)(L_{acc} + \delta_T + \delta_д) + K(L_c + \delta_T + \delta_д), \tag{12}$$

де L_{acc} − максимальний рівень звуку, виміряний при випробуваннях при розгоні, дБА; L_c − максимальний рівень звуку, виміряний при випробуваннях з постійною швидкістю, дБА; K − ваговий коефіцієнт, який залежить від відносної потужності і системи трансмісії.

Модельному рівняння (12) відповідає такий вираз для сумарної стандартної невизначеності вимірювання шумів:

$$u_c(L_R)=\sqrt{(1-K)^2u^2(\widehat{L}_{acc})+[(1-K)^2+K^2][u^2(\delta_T)+u^2(\delta_Д)]+K^2u^2(\widehat{L}_c)},$$

де $u\ (\widehat{L}_{acc})$, $u(\widehat{L}_c)$ − стандартні невизначеності за типом *B* оцінок величин L_{acc} та L_c.

Розширена невизначеність вимірювання L_R для ймовірності 0,95 в цьому випадку буде обчислюватися за формулою:

$$U(L_R)=k\cdot u(L_R).$$

Для всіх розроблених процедур були наведені приклади оцінювання НВ для реальних КТЗ різних типів.

У четвертому розділі дисертаційної роботи розглянуто питання оцінювання невизначеності вимірювань з використанням статистичних оцінок параметрів, які вимірюються. Ці оцінки отримують при кількості спостережень $n\geq 3$. Цей випадок поділяється на два варіанта: перший – коли в якості оцінки багаторазових вимірювань отримують їх середнє арифметичне, а другий – коли у якості оцінки беруть максимальне значення.

Першому варіанту відповідає методика визначення рівня димності за ДСТУ 4276:2004. Основним нормованим параметром димності є коефіцієнт поглинання світла *K*, допоміжним − коефіцієнт ослаблення світла *N*. Взаємозв'язок між значеннями *N* та *K* визначається виразами:

$$K=-\frac{1}{L}\ln\left(1-\frac{N}{100}\right),\ \text{м}^{-1}; \qquad (13)$$

$$N=100\left(1-e^{-KL}\right),\ \%, \qquad (14)$$

де *L* − ефективна база димоміра, м.

Вимірювання параметрів димності проводять в режимі вільного прискорення в послідовності, зображеній на рис. 2.

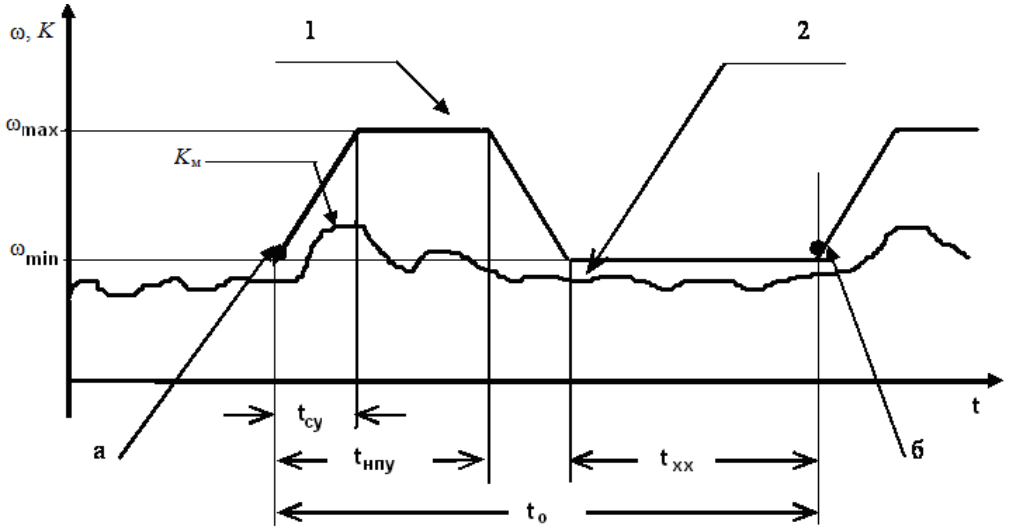

Рисунок 2 − Форми графіків залежності частоти обертання (ω) та коефіцієнта поглинання світла (*K*) від часу (*t*) за одиничний цикл вільного прискорення

На рис. 2 позначено: 1 − частота обертання колінчастого вала двигуна (ω); 2 − димність відпрацьованих газів двигуна; ω_{min} − мінімальна частота обертання; ω_{max} - максимальна частота обертання; t_0 − загальний час одного циклу вільного прискорення (12−15 с); $t_{су}$ − час вільного прискорення від ω_{min} до ω_{max} (1−2 с); $t_{нпу}$ − час натиснутою до упору педалі (2−3 с); t_{XX} − час роботи на ω_{min} (8−10 с); $K_м$ − максимальне значення димності в режимі вільного прискорення; а − початок 1-го циклу вільного прискорення; б − закінчення 1-го і початок 2-го циклу вільного прискорення.

Аналіз методики випробувань дозволяє записати модельне рівняння для коефіцієнта поглинання світла $\bar{K}$, при прямому вимірюванні в наступному вигляді:

$$\bar{K} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4}\left(K_i + \Delta_K\right) = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4}K_i + \Delta_K, \qquad (15)$$

де Δ_K − поправка на похибку вимірювання коефіцієнта поглинання, яка може знаходитися з рівною ймовірністю в границях $\pm\Delta_{pK}$.

З модельного рівняння (15) слідує вираз для відносної сумарної стандартної невизначеності $\bar{k}$:

$$u_c(K) = \sqrt{u_A^2(\bar{K}) + u_B^2(\Delta_K)}, \qquad (16)$$

де стандартна невизначеність вимірювань $u_A(\bar{K})$, яка оцінена за типом *A* для чотирьох спостережень, буде дорівнювати:

$$u_A(\bar{K}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4}(K_i - \bar{K})^2}{12}}, \qquad (17)$$

а стандартну невизначеність за типом *B* $u_B(\Delta_K)$ оцінюють через розширену невизначеність U_K, взяту з сертифікату калібрування димоміру:

$$u_B(\Delta_K) = U_K/2. \qquad (18)$$

Розширена невизначеність $U(\bar{K})$ буде визначатися формулою:

$$U(K) = t_{0,95}(\nu_{eff})\cdot u_c(K), \qquad (19)$$

де $t_{0,95}(\nu_{eff})$ − коефіцієнт Стьюдента для ймовірності 0,95 та ефективного числа степенів свободи ν_{eff}, яке отримують з формули Велча-Саттерсвейта:

$$\nu_{eff} = 3\left[u_c(K)/u_A(\bar{K})\right]^4. \qquad (20)$$

Вирази, аналогічні (15-20) можна привести і для оцінювання невизначеності прямого вимірювання коефіцієнта ослаблення:

$$\bar{N} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4}N_i + \Delta_N;\quad u_c(\bar{N}) = \sqrt{u_A^2(\bar{N}) + u_B^2(\Delta_N)};\quad u_A(\bar{N}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{4}(N_i - \bar{N})^2 \Big/ 12};$$

$$u_B(\Delta_N) = U_N/2;\quad U(\bar{N}) = t_{0,95}(\nu_{eff})\cdot u_c(\bar{N});\quad \nu_{eff} = 3\left[u_c(\bar{N})/u_A(\bar{N})\right]^4.$$

При непрямому вимірюванні $\bar{K}$ шляхом перерахунку через значення коефіцієнта ослаблення N_i, виміряних димоміром, отримуємо такий вираз (метод редукції):

$$\bar{K} = -\frac{1}{4L}\sum_{i=1}^{4}\ln\left(1-\frac{N_i+\Delta_N}{100}\right). \quad (21)$$

З іншого боку, значення $\bar{K}$ може бути розраховане через $\bar{N}$ за формулою:

$$\bar{K}^* = -\frac{1}{L}\ln\left(1-\frac{\bar{N}+\Delta_N}{100}\right). \quad (22)$$

Безсумнівно, що нелінійність рівняння (22) буде викликати зсув оцінки $\bar{K}^*$ по відношенню до $\bar{K}$. Суттєвість цього зміщення можна визначити, підставляючи в (22) вираз:

$$N_i = \bar{N} + \Delta_i, \quad (23)$$

де Δ_i − випадкова похибка вимірювання, тоді:

$$\Delta(\bar{K}) = \bar{K}^* - \bar{K} = -\frac{1}{4L}\sum_{i=1}^{4}\ln\left(1-\frac{\bar{N}+\Delta_i)}{100}\right)+\frac{1}{L}\ln\left(1-\frac{\bar{N}}{100}\right)= \frac{1}{4L}\sum_{i=1}^{4}\ln\left(1-\frac{\Delta_i}{100-\bar{N}}\right). \quad (24)$$

Розкладаючи вираз (24) у ряд за ступенями $\frac{\Delta_i}{100-\bar{N}}$ і обмежуючись членами не вище другого порядку, отримуємо:

$$\Delta(\bar{K}) \approx -\frac{1}{4L}\sum_{i=1}^{4}\left(\frac{\Delta_i}{100-\bar{N}}+\frac{\Delta_i^2}{2\left(100-\bar{N}\right)^2}\right).$$

Перший доданок отриманого розкладання дорівнює нулю, а другий можна виразити через невизначеність за типом *A*:

$$\Delta(\bar{K}) \approx -\frac{3}{2L\left(100-\bar{N}\right)^2}u_A^2(\bar{N}).$$

Залежність відносної похибки $\delta(\bar{K})$ непрямого визначення $\bar{K}$ від $\bar{N}$ і її відносної невизначеності типу А $\tilde{u}_A(\bar{N})$, має вигляд:

$$\delta(\bar{K}) \approx \frac{150\cdot\tilde{u}_A^2(\bar{N})}{\left(1-\frac{100}{\bar{N}}\right)^2\cdot\ln\left(1-\frac{\bar{N}}{100}\right)},\%.$$

Ця залежність в допустимому діапазоні зміни N для $\tilde{u}_A(\bar{N})$=10% представлена на рис. 3.

З рисунка видно, що зміщення $\delta(\bar{K})$ не є суттєвим навіть для великих значень $\bar{N}$ і $\tilde{u}_A(\bar{N})$. Тому виразом (22) можна користуватися замість (21) у більшості практичних випадків.

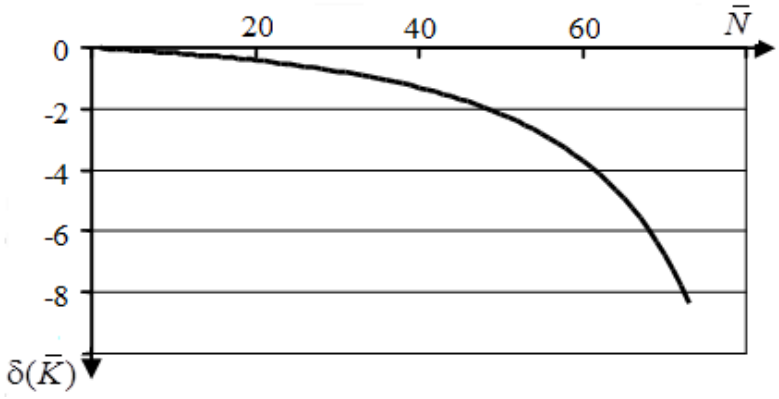

Рисунок 3 − Залежність $\delta(\bar{K})$ при непрямому визначенні $\bar{k}$ від $\bar{N}$ для $\tilde{u}_A(\bar{N})$=10 %

При практичних вимірюваннях димності приладом ИНФРАКАР-Д для марки автомобіля «Камаз» в технічно виправленому стані, розширена невизначеність у режимі вільного прискорення склала для коефіцієнта поглинання 0,083 м$^{-1}$, а для коефіцієнта ослаблення − 2,8%.

Другому варіанту відповідає, наприклад, методика вимірювання радіозавад. Реалізація вимірювань радіозавад включає до себе виконування наступних операцій: а) проведення не менш чотирьох випробувань з вибором найбільшого з показів у якості достовірного; б) дублювання вимірювань на шести фіксованих частотах 45, 65, 90, 150, 180 і 220 МГц (± 5 МГц); в) забезпечення ширини смуги частот на рівні 120 кГц (або приведення показів до цій смузі шляхом множення на коефіцієнт 120/В, де В − ширина смуги частот, що перевищує 120 кГц); г) виконання геометричних вимог до місця проведення випробувань і просторовому розташуванню автотранспортного засобу і антен; д) виконання вимоги до рівня фону сторонніх завад та сигналів при проведенні випробувань; ж) застосування статистичного методу контролю рівня радіоелектронних перешкод для серії автотранспортних засобів.

На основі отриманих в розділі 2 результатів, розроблена процедура оцінювання невизначеності вимірювання при випробуванні автотранспортного засобу, в методиці якого закладено визначення максимального значення ряду спостережень. При її реалізації виконуються наступні операції:

1) складання модельного рівняння:

$$Y = \max\left[X_1, X_2, ..., X_n\right],$$

де Y − результат вимірювання; $X_1, X_2, ..., X_n$ − результати *n* випробувань;

2) оцінювання вхідних величин $X_1, X_2, ..., X_n$ проводиться за результатами прямих одноразових вимірювань відповідним ЗВТ, при цьому отримують результати; $x_1, x_2, ..., x_n$.

3) оцінку результату вимірювання знаходять за формулою

$$y = \max\left[x_1, x_2, x_3 ..... x_n\right];$$

4) стандартні невизначеності вхідних величин оцінюють за типом *A* і за типом *B*:

- стандартну невизначеність типу *A* оцінюють за формулою:

$$u_{\text{A}}\left(x_{\max}\right)=\begin{cases}u_{\text{A1}}\left(x_{\max}\right), & \text{для } n\le 4,\\ u_{\text{A2}}\left(x_{\max}\right), & \text{для } n\le 5;\end{cases} \tag{25}$$

- стандартну невизначеність типу *B* оцінюють за формулою:

$$u_{\text{B}}\left(x_{\max}\right)=\begin{cases}U_{\text{ЗВТ}}/k_{\text{ЗВТ}}, & \text{для каліброваного ЗВТ;}\\ \Delta_p/\sqrt{3}, & \text{для повіреного ЗВТ,}\end{cases} \tag{26}$$

де $U_{\text{звт}}$ і $k_{\text{ЗВТ}}$ – відповідно розширена невизначеність та коефіцієнт покриття, взяті з свідоцтва про калібрування ЗВТ; Δ_p – границі допустимої абсолютної похибки повіреного ЗВТ, які обчислені через його клас точності.

5) обчислення сумарної стандартної невизначеності вимірюваної величини здійснюється за формулою:

$$u_C\left(x_{\max}\right)=\sqrt{u_{\text{A}}^2\left(x_{\max}\right)+u_{\text{B}}^2\left(x_{\max}\right)};$$

6) обчислення розширеної невизначеності вимірюваної величини здійснюється за формулою

$$U=ku_c\left(x_{\max}\right).$$

Розглянуто приклад ОНВ рівня зовнішнього шуму нерухомих КТЗ. З вимірювального приладу знімаються покази в децибелах. Враховуються тільки ті свідчення, які були отримані в результаті трьох послідовних вимірювань і розбіжність між якими відповідно не перевищує 2 дБ. Результатом випробувань буде вважатися максимальна з цих трьох показів величина. З урахуванням сказаного, рівняння вимірювання буде мати вигляд:

$$L_A=\widehat{L}_{A\max}+\delta_T+\delta_Д, \tag{27}$$

де $\widehat{L}_{A\max}$ – максимальний результат вимірювання рівня шуму, дБ*A*, δ_T та $\delta_Д$ – поправки, відповідно, на температурну та додаткову похибки шумоміру.

Модельному рівняння (33) відповідає такий вираз для сумарної стандартної невизначеності вимірювання шумів:

$$u_c(L_A)=\sqrt{u_A^2(\widehat{L}_{A\max})+u_B^2(\widehat{L}_{A\max})+u^2(\delta_T)+u^2(\delta_Д)}, \tag{28}$$

де $u_A(\widehat{L}_{A\max})$, $u_B(\widehat{L}_{A\max})$ – стандартні невизначеності за типом *A* та *B* вимірювання рівня шумів, отримані за формулами (25) та (26), відповідно.

Розширена невизначеність обчислюється за формулою:

$$U\left(L_A\right)=ku_c\left(L_A\right).$$

Для всіх розроблених у розділі процедур були наведені приклади оцінювання НВ для реальних КТЗ та ЗВТ, які використовуються під час випробувань.

У додатках до дисертаційної роботи наведено акти впровадження результатів роботи в діяльність лабораторій та навчальний процес.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень вирішено актуальну науково-прикладну задачу з розробки науково-технічних засад удосконалення методик випробувань КТЗ за параметрами КБ. Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Проведений аналіз нормативних документів та науково-технічної літератури щодо методів випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки дозволив розробити класифікацію методів вимірювань, які використовуються під час цих випробувань в залежності від виду модельного рівняння, кількості вимірювань, які виконуються під час випробувань та параметра вимірюваної величини, який при цьому оцінюється, та виявити джерела невизначеності вимірювань, що дало змогу в подальшому удосконалити моделі вимірювання з урахуванням всіх вхідних величин, які впливають на результат вимірювань.

2. Удосконалено методи оцінювання невизначеності вимірювань відповідно до потреб випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки. Отримано оцінки невизначеності максимального значення декількох вимірювань, через формулу Беселя, та через розмах вибірки. Показано, що ефективність цих оцінок відрізняється в 1,5 разу при зміні числа вимірювань від 3 до 10.

3. Здійснено типізацію процедур оцінювання невизначеності вимірювань параметрів конструктивної безпеки колісних транспортних засобів за ознаками доцільності використання статистичних оцінок невизначеності вимірювань та описової статистики, що обирається у якості вимірюваного значення, що дало змогу для різних типів процедур навести математичний апарат та надати рекомендації щодо вибору коефіцієнтів охвату, які можуть відрізнятися більш ніж на 20 % в залежності від законів розподілу та співвідношення вкладів невизначеності.

4. Розроблено процедури оцінювання невизначеності вимірювань під час випробувань КТЗ за параметрами гальмування, внутрішніх та зовнішніх шумів, димності відпрацьованих газів, рівня радіоелектронних завад, тощо, які включають до себе моделі вимірювань, основні математичні вирази щодо оцінок невизначеності вимірювань та бюджети невизначеності.

5. Впроваджено результати досліджень у випробувальних лабораторіях ПАТ "Діамант" з іноземними інвестиціями, Державного випробувального центру “Електромаш” ДП “Харківстандартметрологія”, Науково-дослідного та конструкторсько-технологічного інституту міського господарства, м. Київ, а також у навчальному процесі ХНУРЕ при проведенні лекцій та практичних занять з курсу «Оцінка точності методів вимірювань».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Жарко Ю.Г. Испытание автотранспорта: стандартизация, сертификация, оценивание неопределенности измерений (стаття) /Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації.-2008.-№4 (71).-С. 108 – 111.

2. Жарко Ю.Г. Измерение параметров конструктивной безопасности при испытании автотранспортных средств / Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації.-2011.-№6(69).-С. 221 −224.

3. Жарко Ю.Г. Оценивание неопределенности измерений при определении уровня радиоэлектронных помех, вызываемых системами зажигания автотранспортных средств / Ю.Г. Жарко, И.П. Захаров, Е.Н. Слипченко, Е.П. Сорока // Системи обробки інформації.-2009.-№5 (79).-С. 92 – 96.

4. Жарко Ю.Г. Обработка результатов измерений при определении уровня дымности отработавших газов / Ю.Г. Жарко, И.П. Захаров, Е.П. Сорока // Системи обробки інформації.-2010.-№4 (85).-С. 150 – 154.

5. Жарко Ю.Г. Оценивание неопределенности измерений тормозного пути при испытаниях транспортных средств / Ю.Г. Жарко, И.П. Захаров, С.Н. Сакало // Системи обробки інформації.-2012.-№1 (99).-С. 70 – 73.

6. Захаров И.П. Оценивание неопределенности измерений для дифференциальной функции / И.П. Захаров, О.О. Волков, Е.А. Климова, Ю.Г. Жарко // Метрологія та прилади.- 2014.–№1 – II (40).–С. 78 – 90.

7. Захаров И.П. Оценивание неопределенности измерений при испытаниях автотранспортных средств по уровню внешних и внутренних шумов / И.П. Захаров, Ю.Г. Жарко, А.О. Сергеева // Известия МГТУ «МАМИ».-2014.-№ 2 (20), т. 1.-С. 19-23.

8. Боцюра О.А. Оценивание неопределенности измерений максимального наблюдаемого значения параметра испытаний / О.А. Боцюра, И.П. Захаров, Ю.Г. Жарко // Системи обробки інформації.-2015.-№2 (127).-С. 21 – 24.

АНОТАЦІЯ

Жарко Ю.Г. Удосконалення процедур оцінювання невизначеності вимірювань під час сертифікаційних випробувань колісних транспортних засобів

Дисертація на здобуття наукового степеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення. Українська інженерно-педагогічна академія МОН України, Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі з розробки науково-технічних засад удосконалення методик випробувань колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки. В роботі проведено аналіз нормативної документації та науково-технічної літератури щодо колісних транспортних засобів за параметрами конструктивної безпеки, який дозволив виявити джерела невизначеності вимірювань, що дало змогу удосконалити моделі вимірюваних параметрів з урахуванням всіх вхідних величин, які впливають

на оцінку результату вимірювань. Проведений аналіз нормативної документації та науково-технічної літератури щодо методів оцінювання невизначеності вимірювань дозволив виявити невирішені задачі щодо методів випробувань КТЗ за параметрами КБ. Удосконалено методи оцінювання невизначеності вимірювань відповідно до потреб випробувань КТЗ за параметрами КБ. Отримано оцінки невизначеності вимірювань максимального значення обмеженого ряду спостережень, проведено порівняння ефективності оцінок невизначеності при розрахунках через формулу Беселя та через розмах вибірки. Розроблено процедури оцінювання невизначеності вимірювань під час випробувань колісних транспортних засобів за параметрами гальмування, внутрішніх та зовнішніх шумів, димності відпрацьованих газів, рівня радіоелектронних завад, тощо, які включають до себе моделі вимірювань, бюджети та основні математичні вирази щодо оцінок невизначеності.

Ключові слова: колісні транспортні засоби, невизначеність вимірювань, метод Монте-Карло, число степенів свободи.

АННОТАЦИЯ

Жарко Ю.Г. Совершенствование процедур оценивания неопределенности измерений при сертификационных испытаниях колесных транспортных средств

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02 - стандартизация, сертификация и метрологическое обеспечение. Украинская инженерно-педагогическая академия МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи по разработке научно-технических основ совершенствования методик испытаний колесных транспортных средств по параметрам конструктивной безопасности. В работе проведен анализ нормативной документации и научно-технической литературы по методам испытаний колесных транспортных средств по параметрам конструктивной безопасности, который позволил выявить источники неопределенности измерений, что дало возможность усовершенствовать модели измерения параметров конструктивной безопасности с учетом всех входных величин, которые влияют на оценки результата измерений. Проведенный анализ нормативных документов и научно-технической литературы по методам оценивания неопределенности измерений позволил выявить нерешенные задачи по методам испытаний колесных транспортных средств по параметрам конструктивной безопасности. Усовершенствованы методы оценивания неопределенности измерений в соответствии с потребностями испытаний колесных транспортных средств по параметрам конструктивной безопасности. Получены оценки неопределенности измерений максимального значения ограниченного ряда наблюдений, проведено сравнение эффективности оценок неопределенности при расчетах через формулу Бесселя и через размах выборки. Разработаны процедуры

оценивания неопределенности измерений при испытаниях колесных транспортных средств по параметрам торможения, внутренних и внешних шумов, дымности отработанных газов, уровня радиоэлектронных помех и др., включающие в себя модели измерений, основные математические выражения относительно оценок неопределенности измерений и бюджеты неопределенности.

Результаты исследований внедрены в испытательных лабораториях Государственного испытательного центра «Электромаш» ГП "Харьковстандартметрология", ПАО "Диамант" с иностранными инвестициями, г. Харьков, Научно-исследовательского и конструкторско-технологического института городского хозяйства, г. Киев, а также в учебном процессе ХНУРЭ при проведении лекций и практических занятий по курсу «Оценка точности методов измерений».

Ключевые слова: колесные транспортные средства, неопределенность измерений, метод Монте-Карло, число степеней свободы.

ABSTRACT

Zharko Ju.G. Improvement of measurement uncertainty evaluation procedures during certification testing of wheeled vehicles

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.01.02 - standardization, certification and metrology providing. Ukrainian engineering-pedagogical academy, Kharkiv, 2015.

The thesis is devoted to solving actual scientific and applied problem of developing scientific and technological bases of improvement of testing methods of wheeled vehicles for parameters of constructive safety. This thesis analyzes the normative documents and scientific literature on test methods for wheeled vehicles parameters of constructive safety which revealed the sources of measurement uncertainty, which helped improve the measurement wheeled vehicles model parameters of constructive safety with all the input variables that affect the evaluation of measurement uncertainty. The analysis of normative documents and scientific literature on measurement uncertainty evaluation methods revealed unsolved problem on test methods for wheeled vehicles parameters of constructive safety. Improved methods of evaluation of measurement uncertainty in accordance with the requirements for test wheeled vehicles constructive safety parameters. Estimates of measurement uncertainty limited the maximum number of observations compared the effectiveness estimates of uncertainty in the calculation by Bessel formula and by the range of sample. A procedure for evaluation of measurement uncertainty during the test wheeled vehicles by braking parameters, internal and external noise, smoke exhaust gases and the level of electronic noise, which includes the measurement model, basic mathematical expressions concerning estimates of measurement uncertainty and uncertainty budgets.

Keywords: wheeled vehicles, measurement uncertainty, Monte Carlo method, the number of degrees of freedom.