Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____*Інфокомунікацій* _____
(повна назва)
Кафедра _____*Інформаційно-вимірювальних технологій*_____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____другий (магістерський)_____
_____Випробування транспортних засобів за рівнем шуму_____
(тема)

Виконав: студент *II* курсу, групи _ЗЯм-22-2
_____Захаров О.І._____
(прізвище, ініціали)
спеціальності __*152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка* _____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми ____освітньо-професійна_____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма __«Забезпечення якості»__
(повна назва освітньої програми)

Керівник _____доц. Дегтярьов О.В._____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____ ____Захаров І.П.____
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет_____Інфокомунікацій_____

Кафедра_____Інформаційно-вимірювальних технологій_____

Рівень вищої освіти____другий (магістерський)_____

Спеціальність____152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка___
(код і повна назва)

Тип програми _____освітньо-професійна_____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма_____«Забезпечення якості»_____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
«____»__січня_____ 2024__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові_____*Захарову Олександру Ігоровичу*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____*Випробування транспортних засобів за рівнем шуму,*___
затверджена наказом по університету від 03 *листопада 2023 р. № 1294 Ст*___

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10 січня *2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи:___об'єкт вимірювання: рівень зовнішнього шуму рухомого легкового автомобіля категорії М1 за допомогою приладу з границями основної похибки ±0,7 дБ, температурної ±0,5 дБ, додаткової похибки відхилення напруги живлення ± 1,5 дБ на відстані 7,5 ± 0,2 м від контрольної лінії і на висоті 1,2 ± 0,1 м над поверхнею; рівень зовнішнього шуму нерухомого автотранспортного засобу на відстані відстані 0,5 м; рівень внутрішнього шуму на рівні 1,6±0,1 м від підлоги. л. Границі похибок за паспортними даними на прилад становлять

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: 4.1 Аналіз методів та засобів вимірювання рівня шуму. 4.2 Розробка процедури оцінювання невизначеності вимірювань рівня зовнішнього шуму рухомого ТЗ. 4.3 Розробка процедури оцінювання невизначеності вимірювань рівня зовнішнього шуму нерухомого ТЗ. 4.4 Розробка процедури оцінювання

невизначеності вимірювань рівня внутрішнього шуму ТЗ. 4.5 Розробка бюджетів невизначеності.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 5.1 Назва кваліфікаційної роботи. 5.2 Мета та задачі роботи. 5.3 Процедура оцінювання невизначеності вимірювань рівня зовнішнього шуму рухомого ТЗ. 5.4 Процедура оцінювання невизначеності вимірювань рівня зовнішнього шуму нерухомого ТЗ. 5.5 Розробка процедури оцінювання невизначеності вимірювань рівня внутрішнього шуму ТЗ.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	**Терміни виконання** етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану проблеми та		
	методів її вирішення	03.11.2023 – 12.11.2023	
2	Розробка програми випробувань	13.11.2023 – 20.11.2023	
3	Розробка методики випробувань	21.11.2023 – 30.11.23	
4	Розробка протоколу випробувань	01.12.2023 – 10.12.2023	
5	Написання пояснювальної записки	11.12.2023 – 23.12.2023	
6	Виконання графічної частини	24.12.2023 – 09.01.2024	
7	Представлення закінченої кваліфікаційної	10.01.2024	
	роботи на кафедру		

Дата видачі завдання _03_листопада_ 2023 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ ___доц. Дегтярьов О.В.____
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 50 сторінок, 8 рисунків, 10 таблиць, перелік посилань з 20 назв.

ТРАНСПОРТИЙ ЗАСІБ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, АКУСТИЧНИЙ ШУМ, ВИПРОБУВАННЯ, ЗОВНІШНІ ШУМИ, ВНУТРІШНІ ШУМИ, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, БЮДЖЕТ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Об'єкт дослідження – методики випробувань транспортних засобів за рівнем зовнішніх та внутрішніх шумів.

Мета роботи – розробка процедур оцінювання невизначеності вимірювань акустичних шумів транспортних засобів.

Досліджується питання екологічної безпеки транспортних засобів. Проведений аналіз існуючих методик випробувань рухомих та нерухомих транспортних засобів.

Розроблено процедури для розрахунку невизначеності зовнішніх акустичних шумів рухомого та нерухомого транспортного засобу, а також внутрішнього шуму.

Для всіх розроблених процедур побудовано бюджети невизначеності вимірювань як основа для побудови програмих засобів для автоматизації розрахунку невизначеності.

Розглядаються приклади оцінювання невизначеності вимірювань для всіх розроблених процедур.

ABSTRACT

The explanatory note to degree work contains 50 pages, 8 figures, 10 tables, reference list for 20 items.

VEHICLE, ENVIRONMENTAL SAFETY, ACOUSTIC NOISE, TESTING, EXTERNAL NOISE, INTERNAL NOISE, MEASUREMENT UNCERTAINTY, UNCERTAINY BUDGET

The object of the study is testing methods for vehicles based on the level of external and internal noise.

The purpose of the work is to develop procedures for uncertainty evaluation of vehicle acoustic noise measurements.

The issue of environmental safety of vehicles is being investigated. An analysis of existing testing methods for moving and stationary vehicles was carried out.

Procedures have been developed to calculate the uncertainty of external acoustic noise of a moving and stationary vehicle, as well as internal noise.

For all developed procedures, measurement uncertainty budgets were built as the basis for constructing software tools for automating the calculation of uncertainty.

Examples of estimation of measurement uncertainty for all developed procedures are considered.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛОВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

GUM – Настанова з подання невизначеності вимірювання;

IATF – Міжнародна робоча автомобільна група;

IEC – Міжнародна електротехнічна комісія

ISO – Міжнародна організація зі стандартизації;

JAMA – Японська асоціація автомобілебудівників;

MRA – Угода про взаємне визнання;

SI – Міжнародна система одиниць;

TS – технічні умови;

UN/ECE – Європейська економічна комісія Організації Об’єднаних націй;

БДР – безпека дорожнього руху;

ДСТУ – Державний стандарт України;

ДТЗ – дорожньо-транспортний засіб;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;

МБМВ – Міжнародне бюро мір та ваг;

МЕК – Міжнародна електротехнічна комісія;

МКМВ – Міжнародний комітет мір та ваг;

МОЗМ – Міжнародна організація із законодавчої метрології;

НМІ – національний метрологічний інститут;

ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина;

РМГ – Рекомендації з міждержавної стандартизації;

СКВ – середньоквадратичне відхилення;

ТЗ – транспортний засіб.

ЗМІСТ

Вступ ……... 9

1 Аналітичний огляд методів випробувань ТЗ за параметрами шумів……... 11

1.1 Характеристики шумів ТЗ ……. 11

1.2 Класифікація випробувань ТЗ за параметрами екологічної безпеки ……... 16

1.2.1 Забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки ……... 16

1.2.2 Параметри екологічної безпеки …….. 19

1.3 Нормативна база випробувань ТЗ за параметрами шумів, що ними виробляються ……..…….. 20

1.3.1 Метрологічне забезпечення випробувань автотранспорту.... 20

1.3.2 Стандартизація та нормування в галузі захисту від акустичних шумів……. 21

1.4 Основні аспекти вимірювання акустичних шумів ...……. 22

1.5 Обробка результатів вимірювань ……... 24

1.5.1 Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів ТЗ…. 24

1.5.2 Аналіз методики оцінювання невизначеності вимірювань.... 25

1.6 Висновки до розділу 1…… 27

2 Методики випробувань ТЗ за параметрами шумів, що ними виробляються …… 28

2.1 Визначення зовнішніх шумів ТЗ, що рухається……. 28

2.1.1 Схема виконання вимірювань.....…….. 28

2.1.2 Оцінювання невизначеності вимірювань……. 30

2.1.3 Бюджет невизначеностей…… 31

2.2 Визначення зовнішніх шумів зупиненого ТЗ……... 32

2.2.1 Схема виконання вимірювань.....……

2.2.2 Оцінювання невизначеності вимірювань……...

2.2.3 Бюджет невизначеностей……

2.3 Визначення внутрішніх шумів ТЗ…….....

2.3.1 Схема виконання вимірювань.....……

2.3.2 Оцінювання невизначеності вимірювань……...

2.3.3 Бюджет невизначеностей……

2.4 Висновки до розділу 2……

3 Практичне застосування розроблених процедур оцінювання невизначеності вимірювань……

3.1 Розрахунок невизначеності вимірювань зовнішніх шумів рухомого ТЗ…….

3.2 Розрахунок невизначеності вимірювань зовнішніх шумів зупиненого ТЗ……..

3.3 Розрахунок невизначеності вимірювань внутрішніх шумів рухомого ТЗ…….

3.4 Висновки до розділу 3……

Висновки……..……..

Перелік посилань……...

ВСТУП

Світова автомобільна промисловість висуває вимоги до якості продукції, продуктивності, конкурентоспроможності, а також до постійного поліпшення автотранспортних засобів для відповідності світовому рівню якості, що зростає. Для досягнення цієї мети багато автомобілебудівників наполягають на тому, щоб постачальники суворо дотримувалися технічних специфікацій, викладених у стандарті менеджменту якості для постачальників автомобільної промисловості, відомий як ISO/TS 16949:2009 Системи управління якістю. Спеціальні вимоги до застосування ISO 9001:2008 у серійному виробництві та виробництві запасних частин для автомобільної промисловості [1].

Стандарт ISO/TS 16949 є спільною розробкою Міжнародної робочої автомобільної групи (IATF) та Японської асоціації автомобілебудівників (JAMA) за підтримки Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) та описує вимоги до систем менеджменту якості підприємств, що займаються проектуванням, виробництвом, налагодженням та обслуговуванням продукції, призначеної для автомобілебудівної промисловості. При цьому ISO/TS 16949 це не тільки стандарт на систему менеджменту, але і технічна специфікація, яка застосовується при виробництві автомобільної продукції або на станціях технічного обслуговування. Виробництво розглядається як процес створення матеріалів та частин, збирання, термообробка, фарбування та обшивка.

Відповідно до ISO/TS 16949:2009 свідченням прийнятності випробувальної лабораторії для споживача є її акредитація за міжнародним стандартом ISO/IEC 17025:2017 [2], який наказує необхідність наявності процедур оцінювання невизначеності вимірювань, що проводяться в акредитованих лабораторіях. На жаль, цьому питанню в літературі приділяється незаслужено мала увага.

Для реалізації вимог зазначених міжнародних стандартів необхідно розробити настанову з оцінювання невизначеності вимірювань при випробуваннях

автотранспортних засобів, а також процедури оцінювання невизначеності під час проведення конкретних випробувань у відповідних випробувальних лабораторіях.

У цій кваліфікаційній роботі будуть розроблені процедури оцінювання невизначеності акустичних шумів. Для цього необхідно провести аналіз нормативної бази метрологічного забезпечення випробувань автотранспортних засобів, розглянути методику випробувань нормованих параметрів акустичних шумів відповідно до вимог стандартів і нормативних документів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗВСОБІВ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ШУМІВ

Рівні внутрішніх і зовнішніх шумів відносяться до параметрів екологічної безпеки транспортних засобів (ТЗ), яка досягається обмеженням випромінювання від автомобіля, що надає негативний вплив на учасників дорожнього руху та навколишнє середовище. Вплив шумів на організм людини може призводити до повної або часткової втрати слуху, порушення сну, розладів центральної нервової, ендокринної та серцево-судинної систем. П. 59 а глави III Міжнародної конвенції про дорожній рух, наказує, що механізми та обладнання ТЗ по можливості не повинні створювати шум. Ця вимога призводить до необхідності регламентації параметрів інтенсивності, спектрального складу, часу дії шумів ТЗ, а також контролю за їх виконанням.

1.1 Характеристики шумів ТЗ

Аналіз стандарту ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007 [3], показує, що шуми, досліджувані при випробуваннях ТЗ можна класифікувати наступним чином (рис. 1.1).

Зовнішній шум являє собою сукупність звуків, вироблених ТЗ при його функціонуванні і чутних поза ТЗ. Внутрішній шум характеризується рівнем звуку в кабіні (пасажирському приміщенні) ТЗ, утвореного комплексом різних елементів ТЗ.

Аеродинамічний шум передається повітряним середовищем і виникає в результаті газообміну в двигуні під час процесів впуску свіжого заряду і випуску газів, що відпрацювали, а також в результаті взаємодії лопатей вентилятора з повітрям. Механічний шум передається поверхнею двигуна і агрегатами автомобіля і викликається процесами згоряння і динамічними процесами, що відбуваються в кривошипно-шатунному і газорозподільному механізмах, системах змащення, охолодження, живлення та ін.

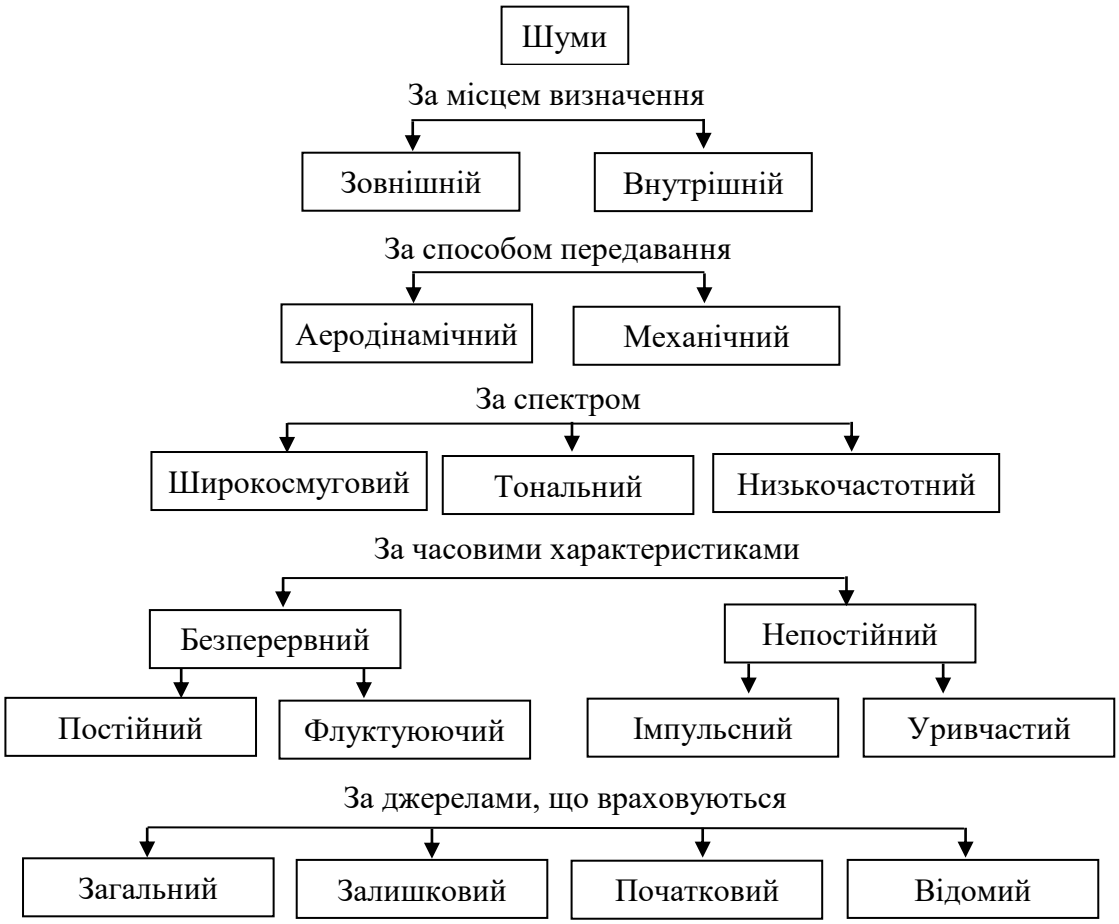

Рисунок 1.1 – Класифікація шумів транспортних засобів

За тимчасовими характеристиками звук поділяється на постійний, коли його рівень протягом 8 годин змінюється не більше ніж на 5 дБА і непостійний при змінах рівня більш ніж на 5 дБА.

Тональний шум – характеризується єдиною частотою або вузькосмуговими компонентами, що розрізняються на слух на тлі загального шуму. Насправді шум вважається тональним, якщо при вимірюваннях в третьоктавних смугах частот перевищення рівня звукового тиску однієї лінії над сусідніми щонайменше 10 дБ.

Імпульсний шум – характеризується різкими змінами звукового тиску тривалістю менше 1 с.

Флуктуючий (вагається в часі) шум – безперервний шум, рівень звукового тиску якого значно змінюється на інтервал спостереження, але не імпульсно.

Переривчастий шум – що виникає на певних регулярних чи нерегулярних інтервалах часу, тривалість яких понад 1 с.

Загальний шум – шум в даній ситуації в даний час, зазвичай складається з шуму різних як далеко, так і близько розташованих джерел.

Залишковий шум – загальний шум при відключенні одного або кількох відомих джерел.

Початковий шум – загальний шум у початковій ситуації до того, як відбулася якась зміна її.

Шум відомого джерела – частина загального шуму, яка може бути визначена і приписана відомому (заданого) джерела шуму.

Характеристиками інтенсивності шуму є:

• звуковий тиск p (Па), що визначає звуковий стан навколишнього джерела звуку середовища;

• звукова потужність (Вт), що характеризує джерело звуку;

• інтенсивність звуку (Вт/м^2), яка визначається як середня потужність звуку, що проходить через одиницю поверхні в заданому напрямку.

Діапазон звукових тисків, що сприймаються людським вухом, надзвичайно широкий: від $2 \cdot 10^{-5}$ Па до $2 \cdot 10$ Па. Такий широкий діапазон робить ненаглядним використання абсолютних значень звукового тиску в Па або звукової потужності в Вт. З метою подолання цього недоліку в акустиці прийняті відносні одиниці – бел, децибел, за допомогою яких оцінюється рівень звукового тиску або рівень звукової потужності. Бел дорівнює десятковому логарифму відношення значення, що підлягає оцінці, до стандартизованого опорного значення заданої величини. 1 бел (Б) = 10 децибелів (дБ).

Характеристикою постійного шуму на робочих місцях є рівні звукового тиску L дБ, що визначаються за формулою:

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \qquad (1.1)$$

де p – значення звукового тиску, Па; p_0 − опорне значення звукового тиску, в повітрі рівне $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

При переході до шкали децибел весь діапазон чутних звуків скорочується до 120 дБ. Експериментально встановлено, що реакція людського вуха на зміни рівнів звукового тиску також носить логарифмічний характер.

З іншого боку, чутливість людського звуку залежить не лише від інтенсивності звуку, а й його частоти f. На рисунку 1.2 зображено криві рівної гучності для різних значень частоти сигналу [4].

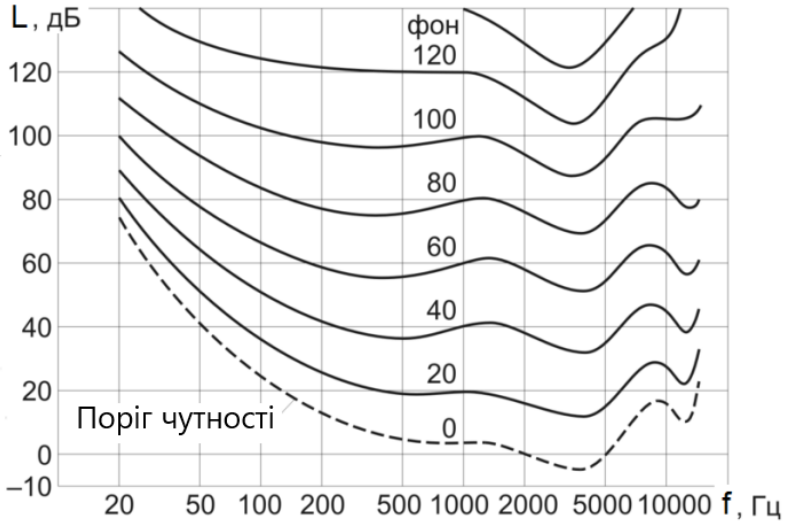

Рисунок 1.2 − Криві рівної гучності для різних значень частоти сигналу f

Ці криві називаються ізофонами, оскільки мають однакову гучність у фонах – одиницях, рівних значенню звукового тиску в децибелах на частоті 1 кГц. Через необхідність оцінки звуку з точки зору його впливу на людину, були введені поняття коригованого рівня звукового тиску і коригованого рівня звукової потужності, що враховують частотну чутливість людського вуха. Насправді, корекція означає ослаблення вимірювальним приладом окремих частотних складових звукового тиску відповідно до середньостатистичної частотної чутливістю людського вуха.

Тому в даний час у приладах для вимірювання інтенсивності шуму широко застосовуються зумовлені міжнародними рекомендаціями та стандартами схеми

частотної корекції, позначені «*A*», «*B*» і «*C*» (рисунок 1.3) [5-7].

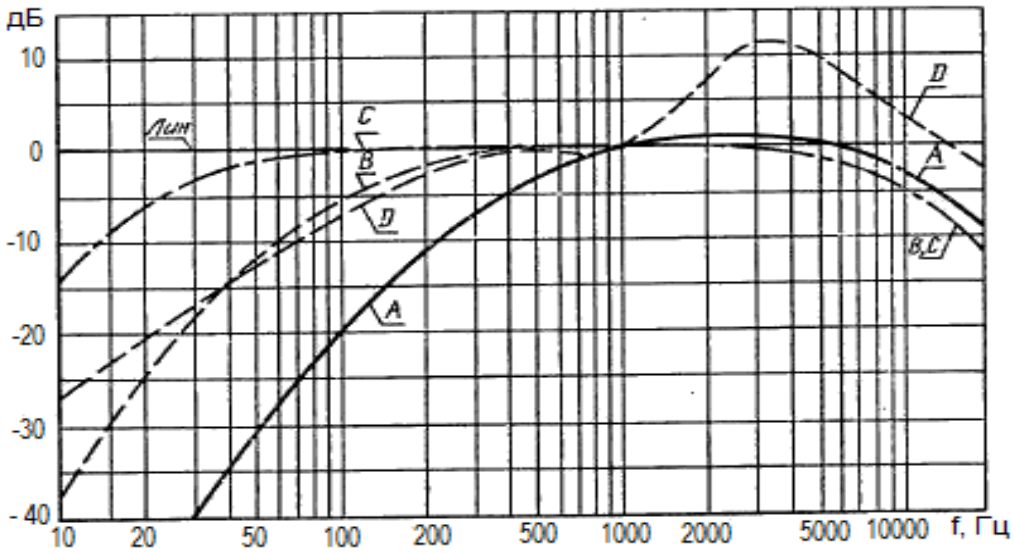

Рисунок 1.3 − Відносні частотні характеристики шумомірів

Характеристика коригуючої схеми «*A*» відповідає кривим рівної гучності в області низьких рівнів звукового тиску (40 дБ), схема «*B*» є наближенням в області середніх рівнів звукового тиску (70 дБ), а параметри схеми «*C*» відповідають кривим рівної гучності в області високих рівнів звукового тиску (90 дБ).

Слід зазначити, що в даний час є додаткова схема частотної корекції «*D*», що визначається міжнародними рекомендаціями та стандартами і призначена для вимірювань шуму літаків. Однак у більшості практичних областей віддається перевага схемою частотної корекції «*A*» через відносно погану кореляцію між результатами суб'єктивних експериментів і об'єктивних вимірювань приладами зі схемами частотної корекції «*B*» і «*C*».

Рівень звукового тиску, виміряний з використанням схеми корекції «*A*», називається рівнем звуку L_A, дБА, що визначається за формулою:

$$L = 20\lg\frac{p_A}{p_0}, \qquad (1.2)$$

де p_A – значення звукового тиску з урахуванням корекції «А» шумоміра, Па.

Частотний діапазон чутних звуків тягнеться від 20 Гц до 20 кГц. Зазвичай чутні нами звуки складаються з окремих тонів, де під тоном розуміється звук, обумовлений синусоїдальним зміною тиску середовища за постійної частоті. З метою ідентифікації окремих тональних складових діапазон частот чутних звуків поділяється на смуги, в яких вимірюються рівні звукового тиску.

Процес послідовного чи одночасного вимірювання рівнів звукового тиску у смугах частот називається спектральним аналізом. При спектральному аналізі звуку вимірювання здійснюються, найчастіше, в октавних смугах частот (октава - частотний діапазон, в якому його вища частота вдвічі більша за нижчу), а також у третьоктавних смугах частот (третьоктава виходить шляхом поділу октави на три частини).

Граничні частоти октавних і третьоктавних смуг стандартизовані [5-7], а самі смуги позначаються їх середньогеометричними частотами, які для третьоктавних смуг обчислюються за формулою:

$$f = 1000 \cdot 10^{n/10}, \tag{1.3}$$

де n – ціле число від -19 до 13.

Для октавних смуг n дорівнює -18, -15, -12, -9, -6, -3, 0, 3, 6, 9, 12, що відповідає середньогеометричним частотам октавних смуг 16 Гц, 31,5 Гц, 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц, 500 Гц, 1000 Гц, 2 кГц, 4 кГц, 8 кГц, 16 кГц.

1.2 Класифікація випробувань ТЗ за параметрами екологічної безпеки

1.2.1 Забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки

Складність забезпечення БДР та охорони навколишнього середовища обумовлюється насамперед нескоординованою роботою відомчих служб БДР,

незабезпеченістю належного фінансування для проведення навчання населення правил дорожнього руху та медичного огляду водіїв, необхідністю посилення контролю за експлуатаційним станом автомобілів та удосконалення організації дорожнього руху, а також відсутністю коштів на проведення непершочергових заходів.

Відповідно до ст. 3 Закону України “Про транспорт” [8] державне управління у сфері транспорту має забезпечувати:

- своєчасне, повне та якісне задоволення потреб населення та громадського виробництва у перевезеннях та потреб оборони України;
- захист прав громадян під час їхнього транспортного обслуговування;
- безпечне функціонування транспорту;
- дотримання необхідних темпів і пропорцій розвитку національної транспортної системи;
- захист економічних інтересів України та законних інтересів підприємств та організацій транспорту та споживачів транспортних послуг;
- створення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту;
- координацію роботи різних видів транспорту;
- ліцензування окремих видів діяльності в галузі транспорту;
- охорону навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту.

Підприємства транспорту зобов’язані забезпечувати безпеку життя та здоров’я громадян, безпеку експлуатації ТЗ, охорону навколишнього середовища.

“Програма забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів” [9] передбачає забезпечення БДР на автомобільних дорогах, вулицях, дотримання екологічних вимог експлуатації ТЗ та поглиблення інтеграції у транспортну мережу Європейського співтовариства шляхом здійснення комплексу взаємопов’язаних заходів за такими напрямками:

1) створення органів управління у сфері БДР;

2) вдосконалення профілактичної та освітньої діяльності у сфері БДР;

3) вдосконалення конструкції ТЗ, засобів технологічного зв'язку, поліпшення стану доріг, вулиць та залізничних переїздів;

4) медичне забезпечення БДР та удосконалення системи збереження життя та здоров'я потерпілих у ДТП;

5) забезпечення розробки, виробництва, проведення науково-дослідних випробувань та впровадження технічних засобів та апаратури автоматизованих систем гнучкого управління дорожнім рухом, контролю швидкісних режимів та екологічного стану навколишнього середовища;

6) інформаційне, науково-технічне та нормативно-правове забезпечення БДР та екологічної безпеки ТЗ.

БДР визначає одну з основних якостей ТЗ. Будучи основним фактором забезпечення та підвищення безпеки ТЗ та їх складових частин на стадіях їх проектування, виробництва та експлуатації, сертифікація надає істотний вплив на БДР.

Основною метою проведення випробувань ТЗ можна вважати підтвердження їхньої конструктивної безпеки.

Конструктивну безпеку ТЗ умовно поділяють на активну, пасивну та екологічну (рис. 1.4).

Рисунок 1.4 – Класифікація факторів безпеки ТЗ

Екологічна безпека досягається обмеженням випромінювань та виділень від ТЗ, які негативно впливають на учасників дорожнього руху та навколишнє середовище.

1.2.2 Параметри екологічної безпеки

Параметри екологічної безпеки представлені на рис. 1.5 і включають викиди в атмосферу, акустичні шуми і радіоперешкоди.

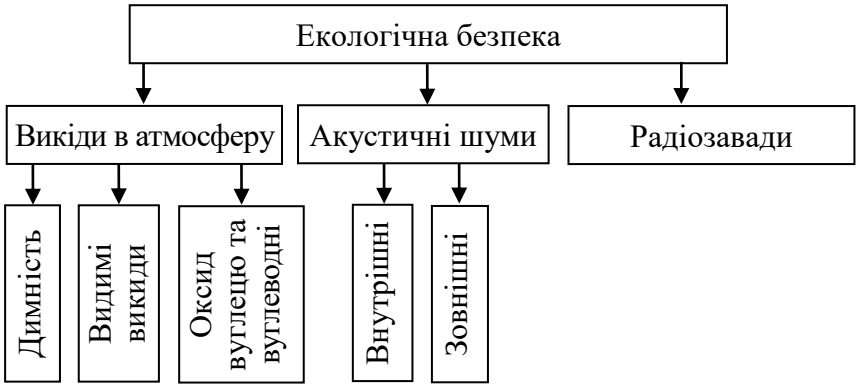

Рисунок 1.5 – Параметри екологічної безпеки

При дослідженні викидів в атмосферу для визначення димності, видимих викидів і оксиду вуглецю та вуглеводню необхідні випробовування:

- вимірювання димності;
- вимірювання викиду вихлопних газів;
- вимірювання вмісту CO_2 і CH_4 у відпрацьованих газах автомобілів.

При дослідженні акустичних шумів виробляють вимірювання зовнішніх і внутрішніх шумів, які характеризуються коефіцієнтом звукопоглинання. Допоміжні параметри при такому випробуванні – кількість оборотів двигуна, габарити транспортного засобу, температурні параметри, параметри навколишнього середовища, характеристики дорожнього покриття, атмосферний тиск.

При проведенні випробувань радіоперешкод, потрібно вимірювати радіоелектричні перешкоди і контролювати їх рівень. Допоміжними параметрами будуть висота антени, частота вимірювання, а додатковими – робоча температура, відстань від антени до ближньої металевої частини, погодні умови.

Практично всі перелічені характеристики, що регламентують безпеку доро-

жнього руху, викладено у нормативно-технічних документах різного рівня.

1.3 Нормативна база випробувань ТЗ за параметрами шумів, що ними виробляються

1.3.1 Метрологічне забезпечення випробувань автотранспорту

Поряд з метрологічними правилами та нормами, що мають обов'язкову силу на території України, які містяться в нормативних документах щодо забезпечення єдності вимірювань та Законом України "Про метрологію та метрологічну діяльність" [10], п. 7.6 стандарту ISO/TS 16949:2009 наказує організаціям визначити вимірювання, які належить здійснювати, а також пристрої для моніторингу та вимірювання, необхідні для забезпечення свідоцтва про відповідність продукції встановленим вимогам. Вимірювальне обладнання, що бере участь у випробуваннях, має бути відкаліброване або повірене у встановлені періоди або перед його застосуванням за зразковими еталонами, що передають розміри одиниць порівняно з міжнародними або національними еталонами.

Крім того, організація повинна оцінити і зареєструвати правомочність попередніх результатів вимірювання, якщо виявлено, що обладнання не відповідає встановленим вимогам.

З метою аналізу варіантів застосування систем вимірювального та випробувального обладнання кожного виду повинні проводитися статистичні дослідження.

Записи з калібрування або повірки всіх калібрів, вимірювального та випробувального обладнання, необхідних для забезпечення свідоцтва відповідності продукції встановленим вимогам, у тому числі обладнання, що належить виконавцю та споживачу, повинні включати:

- ідентифікацію обладнання, включаючи еталон, на відповідність якому відкалібровано обладнання;
- перевірки, які проводяться після технічних змін;

- будь-які відхилення від технічних умов, отримані за калібруванням/повіркою;
- оцінку впливу відхилень від технічних умов;
- висновки про відповідність вимогам після калібрування чи повірки;
- повідомлення споживача у разі відвантаження сумнівної продукції або матеріалу.

Власна випробувальна лабораторія організації повинна мати можливість проводити необхідні контроль, випробування або калібрування/повірки. Ця сфера діяльності лабораторії має бути включена до документації системи менеджменту якості. Лабораторія повинна встановлювати основні технічні вимоги, які забезпечують:

- достатність процедур лабораторії;
- компетентність персоналу лабораторії;
- випробування продукції;
- можливості правильного здійснення даних послуг, що простежуються по відношенню до відповідного стандарту на процес;
- аналіз відповідних записів.

Зовнішня/комерційна/незалежна лабораторія, що використовується організацією для проведення контролю, випробувань або послуг з калібрування/повірки, повинна мати можливість проводити необхідні контроль, випробування або калібрування/повірки, прийнятні для споживача.

1.3.2 Стандартизація та нормування в галузі захисту від акустичних шумів

ТЗ повинні відповідати вимогам екології, державним стандартам та мати відповідний сертифікат.

З метою попередження, зниження та досягнення безпечних рівнів виробничих та інших шумів повинні забезпечуватися [11]:

- створення та впровадження малошумних машин та механізмів;

- вдосконалення конструкцій транспортних та інших пересувних засобів та установок та умов їх експлуатації, а також утримання в належному стані залізничних та трамвайних колій, автомобільних колій, вуличного покриття;
- розміщення підприємств, транспортних магістралей, аеродромів та інших об'єктів з джерелами шуму під час планування та забудови населених пунктів відповідно до встановлених законодавством санітарно-гігієнічних вимог, будівельних норм та карт шуму;
- виробництво будівельних матеріалів, конструкцій, технічних засобів спорудження житла, об'єктів соціального призначення та будівництво споруд з необхідними акустичними властивостями;
- організаційні заходи для запобігання та зниження виробничих, комунальних, побутових та транспортних шумів, включаючи впровадження раціональних схем та режимів руху транспорту та інших пересувних засобів та установок у межах населених пунктів.

1.4 Основні аспекти вимірювання акустичних шумів

Оцінку рівня шумів здійснюють відповідно до вимог стандарту ДСТУ UN/ECE R 51-02:2002 "Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автотранспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса щодо створеного ними шуму" [12].

Рухомий склад автомобільного транспорту представляє на даний час широкий спектр ТЗ, різних за технічними характеристиками та призначенням. З метою упорядкування класифікації транспортних засобів прийнято низку критеріїв, що служать їх характерними особливостями. На підставі цих особливостей транспортні засоби діляться на категорії, що володіють загальними властивостями та характеристиками (таблиця 1.1)

Вимірювання шуму виробляється для ТЗ, що знаходяться у русі, та для ТЗ, що знаходяться у нерухомому стані [12]. За наявності ТЗ, що приводиться в рух за

допомогою електродвигуна, вимірювання шуму, що виробляється їм, повинно проводитися тільки в русі.

Таблиця 1.1 – Граничні значення допустимих рівнів шуму ТЗ

Найменування категорії	Характеристики категорій	Допустимі рівні шуму, дБ (А)		
		Зовн. шум рух.	Зовн. шум нерух.	Внутр. шум
L	моторні ТЗ з числом коліс менше чотирьох	-	80	-
M	механічні ТЗ, що мають не менше чотирьох коліс та використовуються для перевезення пасажирів	-	85	-
M_1	ТЗ, які призначені для перевезення пасажирів, мають, крім місця для водія, не більше восьми місць для сидіння	74	85	80
M_2	ТЗ, які призначені для перевезення пасажирів, мають, крім місця для водія, більше восьми місць для сидіння та максимальна маса яких не перевищує 5 т	78	85	80
M_3	ТЗ, які призначені для перевезення пасажирів, мають, крім місця водія, більше восьми місць для сидіння та максимальна маса яких перевищує 5 тонн	80	87	80
N	механічні ТЗ, що мають не менше чотирьох коліс та призначені для перевезення вантажів	76	87	85
N_1	ТЗ, які призначені для перевезення вантажів та максимальна маса яких не перевищує 3,5 т	77	89	85
N_2	ТЗ, які призначені для перевезення вантажів та максимальна маса яких перевищує 3,5 т, але не перевищує 12 т	78	92	85
N_3	ТЗ, які призначені для перевезення вантажів та максимальна маса яких перевищує 12 т	80	92	85

ТЗ, максимально допустима маса яких перевищує 2800 кг, повинні додатково випробуватися на вимірювання рівня шуму, виробленого стисненим повітрям, в нерухомому стані, якщо відповідне гальмівне обладнання є частиною ТЗ.

Випробування ТЗ, що є у нерухомому стані, проводиться для встановлення контрольної величини, необхідної адміністративним органам, які застосовують цей метод контролю ТЗ, що знаходяться в експлуатації.

Якщо ТЗ обладнано вихлопною системою, що містить волокнисті матеріали, то така вихлопна система повинна бути доведена до нормальних умов роботи до початку випробувань відповідно до [12].

1.5 Обробка результатів вимірювань

1.5.1. Оцінювання невизначеності вимірювань параметрів ТЗ

Виходячи з міжнародного стандарту ISO/IEC 1702517 [2] випробувальні лабораторії повинні мати і застосовувати процедури оцінки невизначеності вимірювань.

Відповідно до концепції невизначеності, метою вимірювання є достовірна оцінка параметрів розподілу ймовірності, що характеризують вимірювану величину. Невизначеність вимірювань – це параметр, який пов’язаний з результатом вимірювань та характеризує розкид значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

На практиці невизначеність результату вимірювань може виникати внаслідок впливу багатьох можливих джерел, таких як: неповне визначення вимірюваної величини, впливу навколишнього середовища, неточності засобів вимірювання, вплив оператора та інші.

Відповідно до Настанови з подання невизначеності вимірювань GUM [13] невизначеності поділяють на дві категорії відповідно до методів їх оцінювання: невизначеність типу *A* і типу *B*. Невизначеність типу *A* розраховується шляхом статистичної обробки результатів вимірювань, а невизначеність типу B – будь-яким іншим способом , але не статистичною обрабкою.

Невизначеність поділяється на стандартну та розширену.

Стандартна невизначеність виражається як середньоквадратичне відхилення. Стандартна невизначеність результату вимірювань, отриманого зі значень ряду інших величин, називають сумарною стандартною невизначеністю, що позна-

чається як u_c. Вона є оціненим стандартним відхиленням, пов'язаним з результатом, і дорівнює позитивному квадратному кореню з сумарної дисперсії, отриманої з усіх складових дисперсії і коваріації, яка обчислена шляхом використання так званого закону поширення невизначеності.

При оцінці сумарної невизначеності може бути необхідним розгляд кожного джерела невизначеності окремо, щоб встановити вклад саме цього джерела. Кожен з окремих вкладів тоді розглядається тоді як складова невизначеності.

Розширену невизначеність U знаходять множенням сумарної стандартної невизначеності uc на коефіцієнт охоплення k. Метою використання розширеної невизначеності є показ інтервалу близько результату вимірювання, в границях якого, можна очікувати знаходження більша частина розподілу значень, які могли бути з достатньою основою приписані вимірюваній величині.

Зазвичай результат вимірювань буде повним, тільки коли оцінене значення вимірюваної величини супроводжується значенням невизначеності.

Весь процес оцінювання значення невизначеності, можна представити у вигляді послідовності наступних етапів:

1) опис процесу вимірювання, складання його моделі та виявлення джерел невизначеності;

2) оцінювання значень та стандартних невизначеностей вхідних величин;

3) аналіз кореляцій;

4) розрахунок оцінки вихідної величини;

5) розрахунок стандартної невизначеності вихідної величини;

6) розрахунок розширеної невизначеності;

7) подання кінцевого результату вимірювання.

1.5.2 Аналіз методики оцінювання невизначеності вимірювань

Методика розрахунку невизначеностей є документом, що містить математичний аналіз точності проведення вимірювань. Вона складається з наступних ро-

зділів:

- призначення методики;
- постановка вимірювального завдання;
- модель вимірювання;
- результати вимірювання;
- аналіз вхідних величин;
- кореляція;
- сумарна невизначеність;
- розширена невизначеність;
- повний результат вимірювання;
- бюджет невизначеностей вимірювання.

У розділі “Призначення методики” вказується призначення методики, технічні нормативні правові акти на метод випробувань і технічні нормативні правові акти, відповідно до вимог якого розроблена дана методика.

У розділі “Вимірювальне завдання” міститься суть методу вимірювань та обладнання, що використовується для проведення вимірювання, із зазначенням відповідного технічного нормативного правового акту на обладнання.

Розділ “Модель вимірювання” містить основну формулу, що є функціональною залежністю, яка пов’язує вимірювану величину з іншими величинами, які входять в модель і є джерелами невизначеностей. Усі виявлені джерела невизначеностей відбиваються на діаграмі причина-наслідок.

У розділі “Результати вимірювання” наводиться подання результатів вимірювання.

У розділі “Аналіз вхідних величин” виявляються джерела невизначеностей. Для кожної вхідної величини визначається тип невизначеності, вид розподілу, встановлюється оцінене значення, інтервал, в якому знаходиться значення вхідної величини, і її стандартна невизначеність.

Розділ “Кореляція” містить інформацію про кореляцію водних величин – зв’язок між вхідними величинами.

У розділі “Сумарна невизначеність” розраховується сумарна невизначеність всіх впливових величин, яка являє собою стандартне відхилення оцінки вихідної величини або результату вимірювання і характеризує розкид значень, які можуть бути з достатньою підставою приписаны вимірюваній величині.

1.6 Висновки до розділу 1

Розглянуто міжнародні вимоги до систем якості в автомобільній промисловості, основні цілі та об’єкти стандартизації на автомобільному транспорті, порядок проведення сертифікації ТЗ. Наведено основні напрями державного управління у галузі транспорту.

Досліджено основні нормативні документи з питань метрологічного забезпечення випробувань автотранспорту, забезпечення екологічної безпеки.

Наведена класифікація параметрів екологічної безпеки, дана коротка характеристика цих параметрів, а також гранично допустимі значення досліджуваних параметрів.

Проаналізовано основні етапи оцінювання невизначеності вимірювань та основні розділи методики оцінювання невизначеності вимірювань.

2 МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ ТЗ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ШУМІВ, ЯКІ ВОНИ ВИРОБЛЯЮТЬ

Вимірювання шуму проводиться для транспортного засобу, що знаходиться в русі, і для транспортного засобу, що знаходиться в нерухомому стані [14-17]. За наявності транспортного засобу, що приводиться в рух за допомогою електродвигуна, вимірювання виробленого ним шуму повинно проводитися тільки в русі.

2.1 Визначення зовнішніх шумів ТЗ, що рухається

2.1.1 Схема виконання вимірювань

ISO 362-1:2015 [14] та ISO 362-2:2009 [15] встановлюють шумові характеристики, методи їх вимірювання для ТЗ, що рухається. Схема випробування представлена рис. 2.1

Мікрофон на треку встановлюють на відстані 7,5 ± 0,2 м від контрольної лінії CC’ і на висоті 1,2 ± 0,1 м над поверхнею. Вісь максимальної чутливості має бути горизонтально і перпендикулярна центральній осі транспортного засобу (лінія CC’). Максимальний рівень шуму, виражений у децибелах по кривій «*A*», вимірюється в той момент, коли ТЗ проходить між лініями AA і BB. Отримане значення буде результатом вимірювання [14-15].

Вимірювання шуму, виробленого рухомим ТЗ, вважається дійсним, якщо відхилення між двома послідовними вимірюваннями з однієї і тієї ж сторони ТЗ не перевищує 2 дБА. Розкид результатів можна скоротити, якщо інтервал між ними становить одну хвилину, і на холостому ходу використовується нейтральна передача, оскільки це стабілізує робочу температуру транспортного засобу.

Встановленою величиною вважатиметься величина, що відповідає найвищому рівню звуку. Якщо ця величина перевищує більш ніж на 1 дБА максималь-

ний рівень звуку, дозволений для даної категорії випробуваного ТЗ, проводиться друга серія з двох вимірювань при відповідному положенні мікрофона. Три з чотирьох отриманих таким чином результатів у цьому другому положенні повинні перебувати в визначених границях.

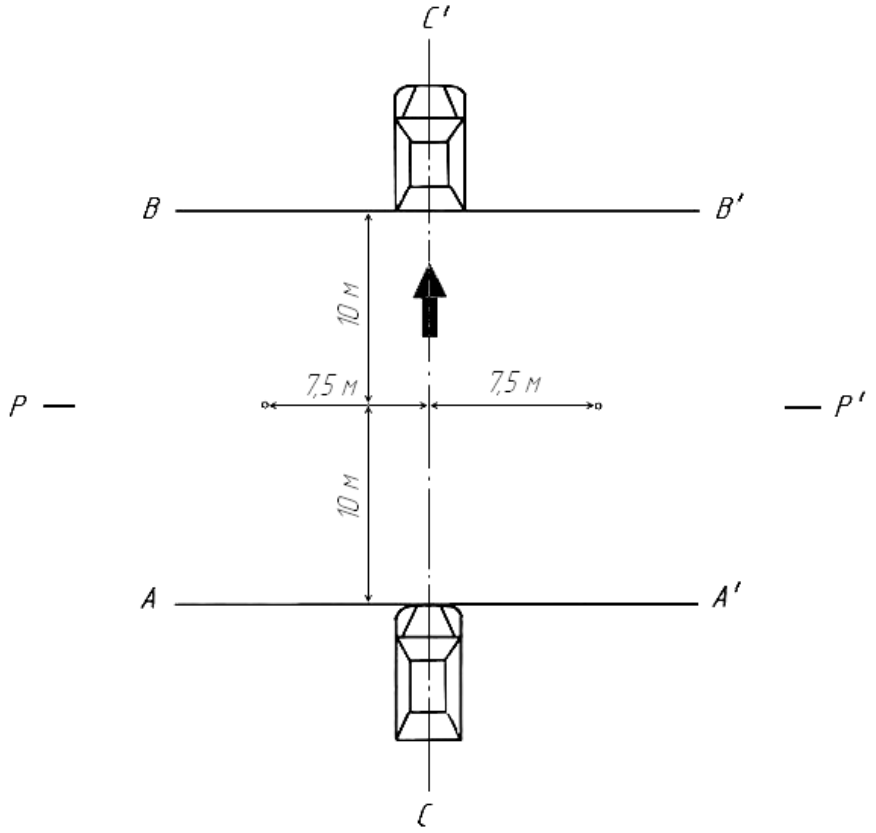

Рисунок 2.1 − Розташування мікрофонів під час вимірювання шумів ТЗ, що рухається

Рівень звуку, виміряний за шкалою «*A*», від джерел звуку, інших, ніж випробуваний транспортний засіб, і навіть рівень звуку від впливу вітру повинні бути щонайменше на 10 дБА нижче рівня шуму, виробленого транспортним засобом [12] .

Рівень шуму, що виробляється рухомими ТЗ, не повинен перевищувати меж, зазначених у таблиці 1.1.

Характеристичний рівень звуку розраховують за формулою:

$$L_M = L_{acc} - K(L_{ind} - L_c), \quad (2.1)$$

де L_{acc} – рівень звуку, що індикується шумоміром при випробуваннях під час розгону, дБА; L_c – максимальний рівень звуку, виміряний при випробуваннях з постійною швидкістю, дБА; K – ваговий коефіцієнт, що залежить від відносної потужності та системи трансмісії, його значення для різних ТЗ наведено в [14-15].

З урахуванням поправки на температурну похибку δ_T та поправки на додаткову похибку відхилення напруги живлення вимірювального приладу $\delta_д$ рівняння вимірювання (2.1) можна переписати в наступному вигляді:

$$L_M = (1-K)(L_{acc} + \delta_T + \delta_д) + K(L_c + \delta_T + \delta_д). \quad (2.2)$$

2.2.2 Оцінювання невизначеності вимірювань

Модельному рівнянню (2.2) відповідає такий вираз для сумарної стандартної невизначеності вимірювання шумів [13]:

$$u_c(\hat{L}_M) = \sqrt{(1-K)^2 u^2(\hat{L}_{acc}) + \left[(1-K)^2 + K^2\right]\left[u^2(\hat{\delta}_T) + u^2(\hat{\delta}_д)\right] + K^2 u^2(\hat{L}_c)}, \quad (2.3)$$

де $u(\hat{L}_{acc})$, $u(\hat{L}_c)$ – стандартні невизначеності типу *B* оцінок величин L_{acc} та L_c; $u(\hat{\delta}_T)$, $u(\hat{\delta}_д)$ – стандартні невизначеності типу *B* оцінок поправок δ_T і $\delta_д$.

Оскільки стандартні невизначеності за типом *A* в виразі (2.3) відсутні, розширена невизначеність вимірювання для ймовірності 0,9545 у цьому випадку обчислюватиметься за формулою:

$$U(\hat{L}_M) = 2u_c(\hat{L}_M). \quad (2.4)$$

2.2.3 Бюджет невизначеності

Бюджет невизначеності вимірювання рівня зовнішнього шуму рухомого ТЗ наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Бюджет невизначеності вимірювання рівня зовнішнього шуму рухомого ТЗ

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин	Стандартні невизначеності вхідных величин	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності
L_{acc}	$\hat{L}_{acc}$, дБ	$u(\hat{L}_{acc})$, дБ	$(1-K)$	$(1-K)u(\hat{L}_{acc})$, дБA
L_c	$\hat{L}_c$, дБ	$u(\hat{L}_c)$, дБ	K	$Ku(\hat{L}_c)$, дБA
δ_T	0 дБ	$u(\hat{\delta}_T)$, дБ	$\sqrt{(1-K)^2+K^2}$	$u(\hat{\delta}_T)\sqrt{(1-K)^2+K^2}$, дБ
$\delta_д$	0 дБ	$u(\hat{\delta}_д)$, дБ	$\sqrt{(1-K)^2+K^2}$	$u(\hat{\delta}_д)\sqrt{(1-K)^2+K^2}$, дБ
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
L_M	$\hat{L}_M$, дБ	$u_c(\hat{L}_M)$, дБ	2	$U(\hat{L}_M)$, дБ

2.3 Визначення зовнішніх шумів нерухомого ТЗ

ISO 5130:2019 [16] встановлює шумові характеристики, методи їх вимірювання та допустимі рівні шуму нерухомих ТЗ.

В якості основної характеристики зовнішнього шуму прийнятий рівень звуку, який не повинен перевищувати для легкових автомобілів та автобусів 85-92 дБ, мотоциклів – 80-86 дБ.

2.3.1 Схема виконання вимірювань

Розташування мікрофонів щодо ТЗ наведено на рис. 2.2.

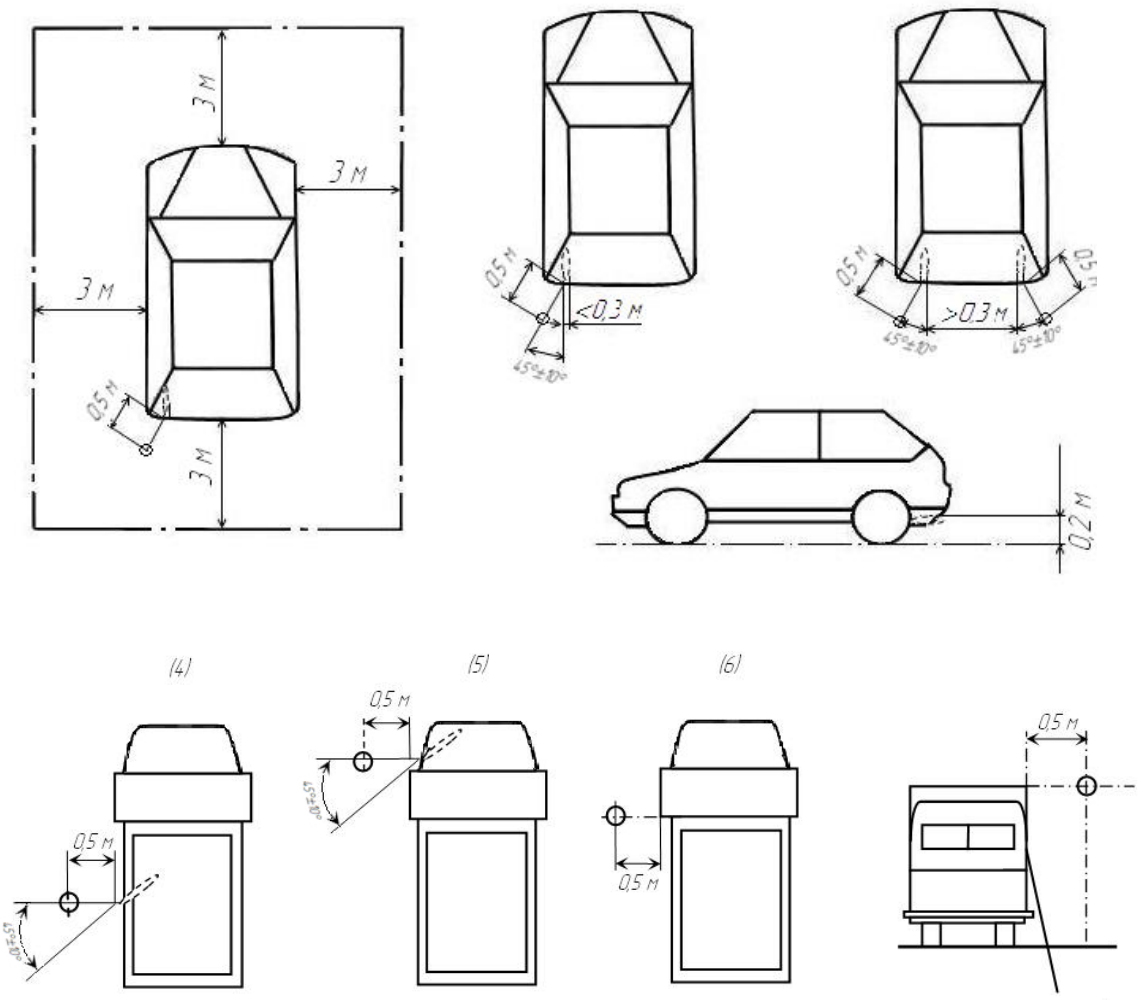

Рисунок 2.2 − Положення мікрофонів для вимірювання шуму нерухомих ТЗ

Під час випробування в зоні вимірювання не повинно бути сторонніх осіб, за винятком випробувача та водія, присутність яких не повинна впливати на показання приладів. Показання вимірювальних приладів, що відображають рівень шуму навколишнього середовища і вітру, повинні бути щонайменше на 10 дБА нижче рівня, який повинен бути отриманий під час вимірювань. У разі використання відповідного вітрозахисного екрану слід враховувати його вплив на чутливість мікрофона.

Вимірювання максимального рівня шуму, вираженого в децибелах по кривій «*А*», проводяться протягом періоду роботи двигуна. У кожній точці вимірювання проводиться не менше трьох вимірювань.

З вимірювального приладу знімаються показання в децибелах, округлені до

найближчого цілого числа. Враховуються лише ті показання, які були отримані в результаті трьох послідовних вимірювань та розбіжності, між якими відповідно не перевищує 2 дБА. Результатом випробувань буде вважатися максимальна з цих трьох показань величина.

З урахуванням сказаного, рівняння вимірювання матиме вигляд:

$$L_S = L_{ind} + \delta_T + \delta_д, \tag{2.5}$$

де L_{ind} – рівень шуму, що індикується на шумомірі; $\delta_т$ – поправки на температурну похибку; $\delta_д$ – поправка на додаткову похибку відхилення напруги живлення вимірювального приладу.

2.3.2 Оцінювання невизначеності вимірювань

Модельному рівнянню (2.5) відповідає такий вираз для сумарної стандартної невизначеності вимірювання шумів [13]:

$$u_c(\hat{L}_S) = \sqrt{u^2(\hat{L}_{ind}) + u^2(\hat{\delta}_т) + u^2(\hat{\delta}_д)} \ . \tag{2.6}$$

Оскільки стандартні невизначеності за типом *A* в виразі (2.6) відсутні, розширена невизначеність вимірювання для ймовірності 0,9545 у цьому випадку обчислюватиметься за формулою:

$$U(\hat{L}_S) = 2u_c(\hat{L}_S) \ . \tag{2.7}$$

2.3.3 Бюджет невизначеності

Бюджет невизначеності вимірювання рівня зовнішнього шуму для нерухо-

мого ТЗ наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Бюджет невизначеності вимірювання рівня зовнішнього шуму для нерухомого ТЗ

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин	Стандартні невизначеності вхідных величин	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності
L_{ind}	$\max(\hat{L}_{ind})$, дБ	$u(\hat{L}_{ind})$, дБ	1	$u(\hat{L}_{ind})$, дБ
$\delta_т$	0 дБ	$u(\hat{\delta}_т)$, дБ	1	$u(\hat{\delta}_т)$, дБ
$\delta_д$	0 дБ	$u(\hat{\delta}_д)$, дБ	1	$u(\hat{\delta}_д)$, дБ
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
L_S	L_S, дБ	$u_c(\hat{L}_A)$, дБ	2	$U(\hat{L}_A)$, дБ

2.4 Визначення внутрішніх шумів ТЗ

ISO 5128:2023 [17] встановлює шумові характеристики, методи їх вимірювання та допустимі рівні шуму в салоні ТЗ. Для внутрішнього шуму наведено орієнтовні значення допустимих рівнів звукового тиску в октавних смугах частот: рівні звуку складають для легкових автомобілів 80 дБ, кабін або робочих місць водіїв вантажних автомобілів, автобусів – 85 дБ, пасажирських приміщень автобусів – 75-80 дБ.

2.4.1 Схема виконання вимірювань

Для вимірювання внутрішнього шуму повинен застосовуватися шумомір 1-го класу [18-19], при включеній частотній корекції, що відповідає шкалі «*A*». Вимірювання рівня шуму необхідно проводити в наступних точках:

- біля сидіння водія (точка Б на рис. 3);

- над кожним рядом сидінь (точка А на рис. 3);

- у зонах для стояння пасажирів на висоті (1,6±0,1) м від підлоги ближче до поздовжньої осі симетрії ТЗ.

Відстань від мікрофона до стінок кабіни та випробувача має бути не менше відповідно, 0,15 та 1 м.

Вимірювання повинні проводитися при розгоні ТЗ (за результат приймають максимальне значення шуму) та при його русі з постійною швидкістю. При цьому виконують не менше 3 вимірювань у кожній точці і за результат приймають їхнє середнє арифметичне. Різниця між отриманим найбільшим та найменшим значенням не повинна перевищувати 2 дБА. За остаточний результат набувають максимального значення, одержуваного у вимірювальних точках [15].

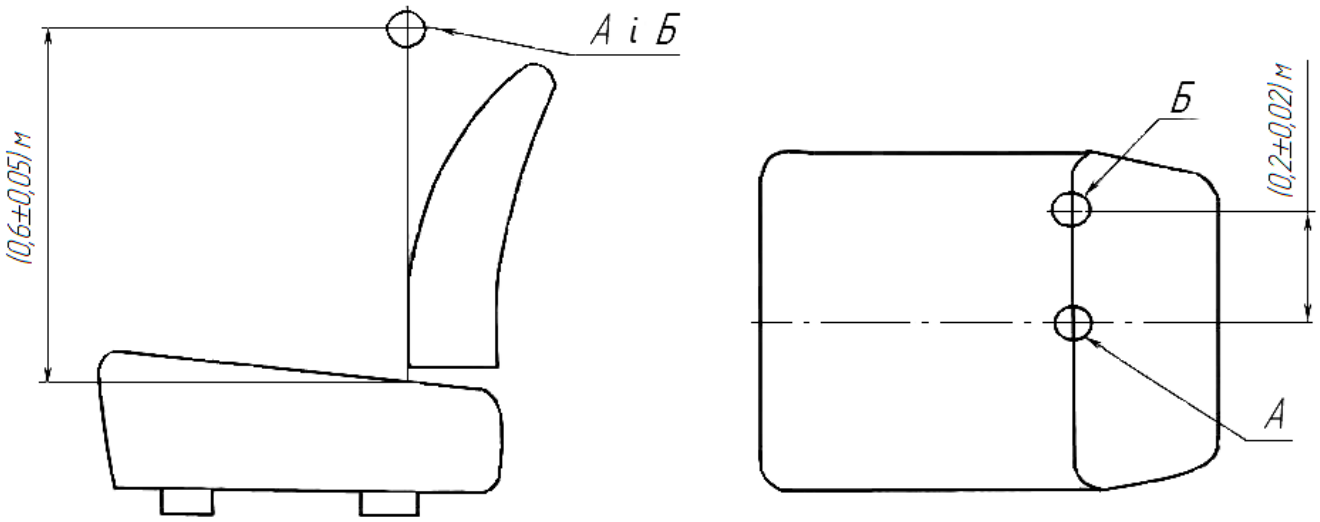

Рисунок 2.3 − Розташування мікрофона щодо сидіння

З урахуванням сказаного, рівняння вимірювання внутрішніх шумів матиме вигляд:

$$L_I = L_{ind} + \delta_T + \delta_д \ , \qquad (2.8)$$

де L_{ind} – рівень шуму, що індикується на шумомірі; $\delta_т$ – поправки на температур-

ну похибку $\delta_д$ – поправка на додаткову похибку відхилення напруги живлення вимірювального приладу.

2.4.2 Оцінювання невизначеності вимірювань

Модельному рівнянню (2.8) відповідає наступний вираз сумарної стандартної невизначеності вимірювання шумів [13]:

$$u_c(L_I) = \sqrt{u_A^2(\bar{L}_{ind}) + u_B^2(L_{ind}) + u^2(\delta_т) + u^2(\delta_д)}, \quad (2.10)$$

де $u_B(\hat{L}_{ind}) = \frac{\theta_{ind}}{\sqrt{3}}$ (2.11); $u(\hat{\delta}_т) = \frac{\theta_т}{\sqrt{3}}$ (2.12); $u(\hat{\delta}_д) = \frac{\theta_д}{\sqrt{3}}$ (2.13) − стандартні невизначеності типу *B*, відповідно $\hat{L}_{imd}$, $\hat{\delta}_T$, $\hat{\delta}_д$ у припущенні рівномірного розподілу в границях $\pm\theta_{ind}$, $\pm\theta_т$, $\pm\theta_д$; $u_A^2(\bar{L}_{ind})$ − стандартна невизначеність типу *A* середнього арифметичного результатів багаторазових вимірювань середнього арифметичного вимірювання рівня шуму,

$$u_A(\bar{L}_{ind}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(L_{ind\,i} - \bar{L}_{ind})^2}, \quad (2.14).$$

n – число вимірювань.

Розширена невизначеність обчислюється за такою формулою:

$$U(\hat{L}_I) = k \cdot u_c(\hat{L}_I), \quad (2.15)$$

де k − коефіцієнт охоплення, що визначається як коефіцієнт Стьюдента для ймовірності 0,9545 та ефективного числа степенів свободи (ЕЧСС), яке розраховується за формулою Велча-Саттерсвейта:

$$\nu_{eff} = (n-1)\left[\frac{u_c(L_I)}{u_A(\bar{L}_{ind})}\right]^4. \qquad (2.16)$$

2.4.3 Бюджет невизначеності вимірювання рівня внутрішнього шуму

Бюджет невизначеності вимірювання рівня внутрішнього шуму наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 − Бюджет невизначеності вимірювання рівня внутрішнього шуму ТЗ

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин	Стандартні невизначеності вхідных величин	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності
L_{ind}	$\bar{L}_{ind}$, дБA	$u_A(\bar{L}_{ind})$, дБA	$n-1$	1	$u_A(\bar{L}_{ind})$, дБA
		$u_B(\hat{L}_{ind})$, дБ	∞	1	$u_B(\hat{L}_{ind})$, дБ
δ_T	0 дБ	$u(\hat{\delta}_т)$, дБ	∞	1	$u(\hat{\delta}_т)$, дБ
$\delta_д$	0 дБ	$u(\hat{\delta}_д)$, дБ	∞	1	$u(\hat{\delta}_д)$, дБ
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини	Сумарна стандартна невизначеність	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність
L_I	$\hat{L}_I$, дБA	$u_c(\hat{L}_I)$, дБ	ν_{eff}	k	$U(\hat{L}_I)$, дБ

Висновки до розділу 2

У цьому розділі розглянуті методи вимірювання параметрів акустичних зовнішніх шумів, які виробляють рухомі ТЗ і ТЗ, що є у нерухомому стані, а також і метод вимірювання внутрішніх шумів.

Наведено умови проведення вимірювань та підготовка до них, описана про-

цедура проведення вимірювання, вимоги до засобів вимірювальної техніки, що використовується для конкретного виду випробування, оцінка результатів вимірювання. Розроблено процедури оцінювання невизначеності вимірювань для внутрішнього та зовнішніх шумів ТЗ.

Побудовано бюджети невизначеності вимірювань, які можуть бути покладені в основу програмних засобів, що забезпечують автоматизацію оцінювання невизначеності вимірювань.

3 ПРИКЛАДИ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Як приклад розглянемо випадок вимірювання рівнів шуму легкового автомобіля категорії М1 за допомогою приладу ВШВ 003-М2. Границі основної похибки за паспортними даними на прилад становлять $\theta_{осн}$ =0,7 дБ; поправки на температурну похибку $\theta_т$= 0,5 дБ; поправка на додаткову похибку відхилення напруги живлення вимірювального приладу $\theta_д$ = 1,5 дБ.

3.1 Оцінювання невизначеності, при визначенні зовнішніх шумів ТЗ, що рухається

Результати вимірювань зовнішніх шумів ТЗ, що рухається представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 − Результати вимірювань зовнішніх шумів ТЗ, що рухається

№ вимірювання	Ліва сторона, дБ (*A*)		Права сторона, дБ (*A*)	
	При розгоні	При постійній швидкості	При розгоні	При постійній швидкості
1	79	78	79	78
2	80	81	80	79

З таблиці 3.1, згідно з [14-15], обираємо максимальні значення шумів при розгоні $\hat{L}_{acc}$ =80 дБ та при постійній швидкості $\hat{L}_c$ = 81 дБ. Ваговий коефіцієнт K, згідно з [14-15], для автомобіля цієї категорії складає 0,8.

З рівняння (2.2)

$$L_M = (1-K)(L_{acc} + \delta_T + \delta_д) + K(L_c + \delta_T + \delta_д)$$

для вказаних вище значень $\hat{L}_{acc}$, $\hat{L}_c$, K та для $\hat{\delta}_т = \hat{\delta}_д = 0$, отримуємо:

$$\hat{L}_M = 0{,}2 \cdot 80 + 0{,}8 \cdot 81 = 80{,}8 \text{ дБ.}$$

Стандартні невизначеності вхідних величин для рівномірного розподілу похибок та поправок в середині границь $\pm\theta_{осн,}$ $\pm\theta_т$ та $\pm\theta_д$ будут складати, відповідно,

$$u(\hat{L}_{acc}) = 0{,}7/\sqrt{3} = 0{,}404 \text{ дБ;} \qquad u(\hat{L}_c)\ 0{,}7/\sqrt{3} = 0{,}404 \text{ дБ;}$$
$$u(\hat{\delta}_т) = 0{,}5/\sqrt{3} = 0{,}289 \text{ дБ;} \qquad u(\hat{\delta}_д) = 1{,}5/\sqrt{3} = 0{,}866 \text{ дБ.}$$

Тоді суммарна стандартна невизначеність вимірювань, розрахована за формулою (2.3)

$$u_c(\hat{L}_M) = \sqrt{(1-K)^2 u^2(\hat{L}_{acc}) + \left[(1-K)^2 + K^2\right]\left[u^2(\hat{\delta}_T) + u^2(\hat{\delta}_д)\right] + K^2 u^2(\hat{L}_c)}$$

буде дорівнювати:

$$u_c(\hat{L}_M) = \sqrt{0{,}2^2 \cdot 0{,}404^2 + (0{,}2^2 + 0{,}8^2)(0{,}289^2 + 0{,}866^2) + 0{,}8^2 \cdot 0{,}404^2} = 0{,}884 \text{ дБ.}$$

Розширена невизначеність, обчислена за формулою (2.4):

$$U(\hat{L}_M) = 2 \cdot u_c(\hat{L}_M)$$

буде складати:

$$U(\hat{L}_M) = 2 \cdot 0{,}884 = 1{,}768 \text{ дБ.}$$

В цьому випадку бюджет невизначеності вимірювань (табл. 2.1) приймає вигляд, наведений в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 − Бюджет невизначеності вимірювань зовнішнього шуму ТЗ, що рухається

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, дБ	Стандартні невизначеності вхідных величин, дБ	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, дБ
L_{acc}	80	0,404	0,2	0,0808
L_c	81	0,404	0,8	0,3232
δ_T	0	0,289	0,825	0,238
$\delta_д$	0	0,866	0,825	0,714
Вимірю-вана величина	Оцінка вимі-рюваної ве-личини, дБ	Сумарна стандартна невизначеність, дБ	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, дБ
L_M	80,8	0,884	2	1,77

Результат вимірювання рівня шуму має такий вигляд:

$$L_M = (80{,}8 \pm 1{,}8) \text{ дБ}, \; p = 0{,}95.$$

3.2 Оцінювання невизначеності вимірювань зовнішніх шумів нерухомого ТЗ

Результати вимірювань зовнішніх шумів нерухомого ТЗ в умовній точці А, представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 − Результати вимірювань зовнішніх шумів нерухомого ТЗ

Положення вимірювання	Результати вимірювань, дБ (A)		
Точка А	70	70	71

З таблиці 3.3, згідно з [16], обираємо максимальне значення шумів $\hat{L}_{ind}$ =71 дБ.

З рівняння (2.5)

$$L_S = L_{ind} + \delta_T + \delta_д,$$

для вказаного значення $\hat{L}_{ind}$ та для $\hat{\delta}_т = \hat{\delta}_д = 0$, отримуємо:

$$\hat{L}_S = 71 + 0 + 0 = 71 \text{ дБ.}$$

Стандартні невизначеності вхідних величин для рівномірного розподілу похибок та поправок в середині границь $\pm\theta_{осн}$, $\pm\theta_т$ та $\pm\theta_д$ будут складати, відповідно,

$$u(\hat{L}_{ind}) = 0,7/\sqrt{3} = 0,404 \text{ дБ;} \quad u(\hat{\delta}_т) = 0,5/\sqrt{3} = 0,289 \text{ дБ;} \quad u(\hat{\delta}_д) = 1,5/\sqrt{3} = 0,866 \text{ дБ.}$$

Тоді суммарна стандартна невизначеність вимірювань, розрахована за формулою (2.6)

$$u_c(\hat{L}_S) = \sqrt{u^2(\hat{L}_{ind}) + u^2(\hat{\delta}_т) + u^2(\hat{\delta}_д)}$$

буде дорівнювати:

$$u_c(\hat{L}_S) = \sqrt{0,404^2 + 0,289^2 + 0,866^2} = 0,917 \text{ дБ.}$$

Розширена невизначеність, обчислена за формулою (2.7):

$$U(\hat{L}_S) = 2 \cdot u_c(\hat{L}_S)$$

буде складати:

$$U(\hat{L}_S) = 2 \cdot 0{,}917 = 1{,}833 \text{ дБ}.$$

В цьому випадку бюджет невизначеності вимірювань (табл. 2.1) приймає вигляд, наведений в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Бюджет невизначеностей вимірювань зовнішнього шуму нерухомого ТЗ

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, дБ	Стандартні невизначеності вхідных величин, дБ	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, дБ
L_{ind}	71	0,404	1	0,404
$\delta_т$	0	0,289	1	0,289
$\delta_д$	0	0,866	1	0,866
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, дБ	Сумарна стандартна невизначеність, дБ	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, дБ
L_S	71	0,917	2	1,833

Результат вимірювання рівня шуму має такий вигляд

$$L_S = (71 \pm 2) \text{ дБ}, p=0{,}95.$$

3.3 Оцінювання невизначеності вимірювання внутрішніх шумів ТЗ

Результати вимірювань внутрішніх шумів ТЗ представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 − Результати вимірювань внутрішніх шумів ТЗ

№ вимірювання	Результати вимірювань, дБ (A)
1	71
2	72
3	70

З таблиці 3.5, згідно з [17], обчислюємо середнє арифметичне резуль-

татів окремих вимірювань:

$$\hat{L}_{ind} = \bar{L}_{ind} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_{ind\,i} = 71 \text{ дБ.}$$

З рівняння (2.8)

$$L_S = L_{ind} + \delta_T + \delta_д,$$

для вказаного значення $\bar{L}_{ind}$ та для $\hat{\delta}_т = \hat{\delta}_д = 0$, отримуємо:

$$\hat{L}_I = 71 + 0 + 0 = 71 \text{ дБ.}$$

Стандартні невизначеності типа *B* вхідних величин для рівномірного розподілу похибок та поправок в середині границь $\pm\theta_{осн,}$ $\pm\theta_т$ та $\pm\theta_д$ будут складати, відповідно,

$$u(\hat{L}_{ind}) = 0,7/\sqrt{3} = 0,404 \text{ дБ;}\quad u(\hat{\delta}_т) = 0,5/\sqrt{3} = 0,289 \text{ дБ;}\quad u(\hat{\delta}_д) = 1,5/\sqrt{3} = 0,866 \text{ дБ.}$$

Стандартна невизначеність типу *A* середнього арифметичного результатів багаторазових вимірювань середнього арифметичного вимірювання рівня внутрішнього шуму з рівняння (2.14)

$$u_A(\bar{L}_{ind}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(L_{ind} - \bar{L}_{ind})^2}$$

буде дорівнювати:

$$u_A(\bar{L}_{ind}) = 0,5773 \text{ дБ.}$$

Тоді суммарна стандартна невизначеність вимірювань, розрахована за формулою (2.9)

$$u_c(\hat{L}_S) = \sqrt{u^2(\hat{L}_{ind}) + u^2(\hat{\delta}_т) + u^2(\hat{\delta}_д)}$$

буде дорівнювати:

$$u_c(\hat{L}_S) = \sqrt{0,5773^2 + 0,404^2 + 0,289^2 + 0,866^2} = 1,084 \text{ дБ}.$$

Ефективне числа степенів свободи (ЕЧСС), яке розраховується за формулою Велча-Саттерсвейта (2.16)

$$\nu_{eff} = (n-1)\left[\frac{u_c(L_I)}{u_A(\bar{L}_{ind})}\right]^4.$$

буде дорівнювати:

$$\nu_{eff} = (3-1)\left(\frac{1,084}{0,5773}\right)^4 = 25.$$

Розширена невизначеність обчислюється за формулою (2.15)

$$U(\hat{L}_I) = k \cdot u_c(\hat{L}_I),$$

де k – коефіцієнт охоплення, що визначається як коефіцієнт Стьюдента для ймовірності 0,9545 та розрахованного ефективного числа степенів свободи ν_{eff}.

Для розрахованного $\nu_{eff} = 25$ та ймовірності 0,9545, k =2,105.

Тоді розширена невизначеність вимірювань внутрішнього шумуи буде дорівнювати:

$$U(\hat{L}_I) = 2{,}105 \cdot 1{,}084 = 2{,}282 \text{ дБ}$$

В цьому випадку бюджет невизначеності вимірювань (табл. 2.3) приймає вигляд, наведений в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Бюджет невизначеності вимірювань внутрішнього шуму ТЗ

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, дБ	Стандартні невизначеності вхідных величин, дБ	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, дБ
L_{ind}	71	0,5773	$n-1$	1	0,5773
		0,404	∞	1	0,404
δ_T	0	0,289	∞	1	0,289
$\delta_д$	0	0,866	∞	1	0,866
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, дБ	Сумарна стандартна невизначеність, дБ	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, дБ
L_I	71	1,084	25	1,105	2,282

Результат вимірювання рівня шуму має такий вигляд:

$$U(\hat{L}_I) = (71{,}0 \pm 2{,}3) \text{ дБ}, \; p = 0{,}95.$$

3.4 Висновки до розділу 3

Проведено розрахунки невизначеності вимірювань для всіх методик, розроблених у дипломній роботі.

Розраховані дані представлені у вигляді бюджетів невизначеності.

Записані результати вимірювань для рівня довіри, який приблизно дорівнює 0,95.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено аналітичний огляд характеристик шумів ТЗ. Наведено класифікацію параметрів екологічної безпеки, дано коротку характеристику цих параметрів, а також їх гранично допустимі значення. Досліджено основні нормативні документи з питань метрологічного забезпечення випробувань автотранспорту та екологічної безпеки.

Вивчено методи проведення вимірювань шумів ТЗ.

Розроблено процедури оцінювання невизначеності вимірювань для внутрішнього та зовнішнього шуму для ТЗ, що рухається та для ТЗ у нерухомому стані.

Розроблено бюджети невизначеності вимірювань, які можуть бути покладені в основу програмних засобів, що забезпечують автоматизацію оцінювання невизначеності вимірювань.

Розглянуто приклади оцінювання невизначеності вимірювань для всіх методик, розроблених у кваліфікаційній роботі. Розраховані дані представлені у вигляді бюджетів невизначеності. Записані результати вимірювань для рівня довіри, який приблизно дорівнює 0,95.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ-П ISO/TS 16949:2016 Системи управління якістю. Особливі вимоги до виробників автотранспортних засобів та запасних частин і приладдя до них щодо застосування ISO 9001:2008 (ISO/TS 16949:2009, IDT)

2. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT).

3. ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007 Шум. Опис, вимірювання і оцінка шуму на місцевості. Частина 1. Основні величини і процедура оцінювання (ISO 1996-1:2003, MOD)

4. ISO 266:1997 Acoustics. Preferred frequencies.

5. IEC 61260-1:2014 Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 1: Specifications.

6. IEC 61260-2:2016 Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 2: Pattern-evaluation tests.

7. IEC 61260-3:2016 Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 3: Periodic tests.

8. Закон України Про транспорт: Затверджено наказом Верховної Ради від 1994, № 51, ст.446 (зі змінами, що набрали чинності 21 березня 2023 року).

9. Постанова кабінету міністрів України “Про затвердження Програми забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів від 6 квітня 1998 р. №456.

10. Закон України Про метрологію та метрологічну діяльність. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 30, ст.1008.

11. Закон Украины Про стандартизацію (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 31, ст.1058).

12. ДСТУ UN/ECE R 51-02:2002: Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автотранспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваними ними шуму. Держспоживстандарт України, 2002. – 77 с.

13. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM, 2008, 134 p.

14. ISO 362-1:2015 Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. Engineering method Part 1: M and N.

15. ISO 362-2:2009 Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles. Engineering method. Part 2: L category.

16. ISO 5130:2019 Acoustics –Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles.

17. ISO 5128:2023 Acoustics – Measurement of interior vehicle noise.

18. IEC 61672-1:2002 Electroacoustics – Sound level meters - Part 1: Specifications.

19. IEC 61672-2:2003 Electroacoustics – Sound level meters - Part 2: Pattern evaluation tests.

20. Закон України Про автомобільний транспорт: Затверджено наказом Верховної Ради від 15 січня 2009 року № 885-VI (зі змінами, що набрали чинності 1 жовтня 2021 року).