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 автотранспортних засобів за рівнем шкідливих викидів в атмосферу
(тема)

Виконав:
здобувач ІІ курсу навчання,
групи ЗЯм-23-1
_____Захаров О.О._____
(прізвище, ініціали)
спеціальності __*175 Інформаційно-вимірювальні технології* _____
(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)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет_____Інфокомунікацій_____

Кафедра_____Інформаційно-вимірювальних технологій_____

Рівень вищої освіти_____другий (магістерський)_____

Спеціальність____175 Інформаційно-вимірювальні технології___
(код і повна назва)

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

Освітня програма_____«Забезпечення якості»_____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«__13___»_листопада_2024__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві_____*Захарову Олександру Олександровичу*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____*Випробування автотранспортних засобів за рівнем шкідливих викидів в атмосферу,* затверджена наказом по університету від 12 *листопада 2024 р. № 1202 Ст*___

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12_січня *2025 р.*

3. Вихідні дані до роботи: об'єкт вимірювання: результати випробувань автомобіля Mercedes 15т за параметрами димності: коефіцієнтом поглинання *K* та коефіцієнтом ослаблення *N*; вимірювальний прилад: відкалібрований димомір ІНФРАКАР-Д з оптичною базою 0,43 м; розширена невизначеність вимірювання коефіцієнта поглинання 0,05 $м^{-1}$; розширена невизначеність вимірювання коефіцієнта ослаблення 2 %; рівень довіри *p* приблизно дорівнює 0,95.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: 4.1 Основні аспекти випробувань АТЗ за рівнем шкідливих викидів в атмосферу. 4.2 Методики випробувань ТЗ за параметрами димності автотранспортного засобу. 4.3 Практичне застосування розроблених процедур оцінювання невизначеності вимірювань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 5.1 Назва кваліфікаційної роботи. 5.2 Мета та задачі роботи. 5.3 Параметри димності АТЗ та їх взаємозвязок. 5.4. Пряме вимірювання коефіцієнту поглинання 5.5. Пряме вимірювання коефіцієнту ослаблення 5.6. Непряме вимірювання коефіцієнту поглинання 5.7. Непряме вимірювання коефіцієнту ослаблення 5.8 Висновки.

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	13.11.2023 – 17.11.2023	
2	Розробка програми випробувань	18.11.2023 – 24.11.2023	
3	Розробка методики випробувань	25.11.2023 – 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 – 12.01.2024	
7	Представлення закінченої кваліфікаційної	13.01.2024	
	роботи на кафедру		

Дата видачі завдання _13_листопада_ 2023 р.

Здобувач _____
(підпис)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 54 сторінки, 2 рисунки, 14 таблиць, перелік посилань з 13 назв.

ТРАНСПОРТИЙ ЗАСІБ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ШКІДЛИВІ ВИКИДИ, ВИПРОБУВАННЯ, ДИМНІСТЬ, ВИКИДИ В ВИХЛОПНИХ ГАЗАХ, ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ, МЕТАН, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, БЮДЖЕТ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Об'єкт дослідження – методики випробувань транспортних засобів за рівнем димності.

Мета роботи – розробка процедур оцінювання невизначеності вимірювань димності АТЗ.

Досліджується питання екологічної безпеки транспортних засобів. Проведений аналіз існуючих методик випробувань автотранспортних засобів за рівнем шкідливих викидів в атмосферу.

Розроблено процедури для розрахунку невизначеності прямого та непрямого вимірювань параметрів димності у відпрацьованих газах автомобілів (коефіцієнт поглинання та ослаблення світла) .

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 54 pages, 2 figures, 14 tables, reference list for 13 items.

VEHICLE, ENVIRONMENTAL SAFETY, HARMFUL EMISSIONS, TESTING, SMOKE, EXHAUST GAS EMISSIONS, CARBON DIOXIDE, METHANE, UNCERTAINTY OF MEASUREMENT, UNCERTAINTY BUDGET

The object of the study is the methods of testing vehicles for the smoke levels.

The purpose of the work is to develop procedures for measurements uncertainy evaluation of vehicle smoke.

The issue of environmental safety of vehicles is being studied. An analysis of existing methods of testing vehicles for the level of harmful emissions into the atmosphere has been conducted.

Procedures have been developed for calculating the uncertainty of direct and indirect measurements of smoke parameters in vehicle exhaust gases (light absorption and attenuation coefficient).

For all developed procedures, measurement uncertainty budgets were constructed as a basis for building software tools to automate uncertainty calculation.

Examples of measurement uncertainty assessment 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;

АТЗ – автотранспортний засіб.

БДР – безпека дорожнього руху;

ДСТУ – Державний стандарт України;

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;

ЗМІСТ

Вступ ……... 9

1 Основні аспекти випробувань АТЗ за рівнем шкідливих викидів в атмосферу……..... 11

1.1 Законодавство в області екологичної безпеки …… 11

1.2 Характеристики шкідливих викидів АТЗ ….……... 16

1.2.1 Вимірювання параметрів димності 16

1.2.2 Вимірювання видимих викидів вихлопних газів ……... 18

1.2.3 Вимірювання вмісту CO_2 і CH_4 у відпрацьованих газах автомобілів …… 25

1.3 Висновки до розділу 1…… 28

2 Методики випробувань АТЗ за рівнем димності …..…… 30

2.1 Схема виконання вимірювань.....……. 30

2.2 Оцінювання невизначеності вимірювань …….. 32

2.2.1 Оцінювання невизначеності прямого вимірювання коефіцієнту поглинання ……... 33

2.2.2 Оцінювання невизначеності прямого вимірювання коефіцієнту ослаблення …… 35

2.2.3 Оцінювання невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнту поглинання …… 38

2.2.4 Оцінювання невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнту ослаблення …… 40

2.3 Висновки до розділу 2....…… 42

3. Практичне застосування розроблених процедур оцінювання невизначеності вимірювань…… 43

3.1 Пряме вимірювання коефіцієнту поглинання …….. 43

3.2 Пряме вимірювання коефіцієнту ослаблення...…… 45

3.3 Непряме вимірювання коефіцієнту поглинання ……. 47

3.4 Непряме вимірювання коефіцієнту ослаблення ……. 49
3.5 Висновки до розділу 3 ……..... 51
Висновки……..…….. 52
Перелік посилань……... 53

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 ав-

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

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

1 ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИПРОБУВАНЬ АТЗ ЗА РІВНЕМ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ

1.1 Законодавство в області екологичної безпеки

Місце та роль транспорту у суспільному виробництві визначає необхідність його пріоритетного розвитку, державної підтримки у задоволенні його потреб у транспортних засобах, матеріально-технічних та паливно-енергетичних ресурсах.

Складність забезпечення безпеки дорожнього руху та охорони навколишнього середовища обумовлюється насамперед нескоординованою роботою відомчих служб безпеки дорожнього руху, незабезпеченістю належного фінансування для проведення навчання населення правилам дорожнього руху та медичного огляду водіїв, необхідністю посилення контролю за експлуатаційним станом автомобілів та удосконалення організації дорожнього руху, а також відсутність коштів на проведення непершочергових заходів.

Відповідно до ст. 3 Закону України «Про транспорт» [3] 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 та пропорцій розвитку національної транспортної системи;

• захист економічних інтересів України та законних інтересів підприємств та організацій транспорту та споживачів транспортних послуг;

• створення рівних умов розвитку господарську діяльність підприємств транспорту;

• координацію роботи різних видів транспорту;

• ліцензування окремих видів діяльності у галузі транспорту;

• охорону навколишнього середовища від шкідливого впливу транспорту.

Підприємства транспорту зобов'язані забезпечувати безпеку життя та здоров'я громадян, безпеку експлуатації транспортних засобів, охорону навколишнього середовища.

Транспортні засоби повинні відповідати вимогам безпеки, охорони праці та екології, державним стандартам, мати відповідний сертифікат.

Програма забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів передбачає забезпечення безпеки дорожнього руху на автомобільних дорогах, вулицях та залізничних переїздах, дотримання екологічних вимог експлуатації транспортних засобів та поглиблення інтеграції до транспортної мережі Європейського співтовариства шляхом здійснення комплексу взаємозалежних заходів за такими напрямками:

1) створення органів управління у сфері безпеки дорожнього руху;

2) удосконалення профілактичної та освітньої діяльності у сфері безпеки дорожнього руху;

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

4) медичне забезпечення безпеки дорожнього руху 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 безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів.

Стандартизація та нормування в галузі охорони атмосферного повітря проводяться з метою встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог до охорони атмосферного повітря від забруднення та забезпечення екологічної безпеки.

Стандартизація та нормування в галузі охорони атмосферного повітря спрямовані на:

• забезпечення безпечного навколишнього природного середовища та запобігання екологічним катастрофам;

• реалізацію єдиної науково-технічної політики у галузі охорони атмосферного повітря;

• встановлення єдиних вимог щодо обладнання та споруд з охорони атмосферного повітря від забруднення;

• забезпечення безпеки господарських об'єктів та запобігання виникненню аварій та техногенних катастроф;

• впровадження та використання сучасних екологічно безпечних технологій.

Відповідно до ст. 56 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [4] підприємства, установи, організації, що здійснюють проектування, виробництво, експлуатацію та обслуговування автомобілів та виробництво та постачання палива, зобов'язані розробляти та здійснювати комплекс заходів щодо зниження токсичності та знешкодження шкідливих речовин, що містяться у відпрацьованих газах та скиданнях транспортних засобів, переходу на менш токсичні види енергії та палива, дотримання режиму експлуатації транспортних засобів та інші заходи, спрямовані на запобігання та зменшення викидів та скидів у навколишнє природне середовище забруднюючих речовин та дотримання встановлених рівнів впливів.

Виробництво та експлуатація транспортних засобів, у викидах та скидах яких вміст забруднюючих речовин, що перевищує встановлені нормативи, не допускається.

Керівники транспортних організацій та власники транспортних засобів несуть відповідальність за дотримання встановлених для відповідного типу транспортного засобу норм утримання забруднюючих речовин у відпрацьованих газах, скидів забруднюючих речовин та впливу фізичних факторів пересувних джерел на стан довкілля.

Удосконалення конструкції транспортних засобів, засобів технологічного зв'язку та приладів контролю за рівнем викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище, покращення стану доріг, вулиць та залізничних переїздів передбачає створення досконалих конструкцій транспортних засобів, приладів контролю за рівнем викидів забруднюючих речовин у навколишнє середовище та засобів технологічного зв'язку, приведення у належний стан доріг, вулиць, залізничних переїздів.

Діючими заходами забезпечення безпечних та комфортних умов руху на дорогах загального користування є проведення на аварійно-небезпечних ділянках та у місцях концентрації ДТП дорожніх робіт для нанесення шорсткого покриття, встановлення та заміна дорожніх знаків, нанесення ліній дорожньої розмітки з використанням високоякісних матеріалів на всіх та на 25% інших доріг, заміна та відновлення транспортних та пішохідних огорож, влаштування та ремонт тротуарів та велодоріжок уздовж доріг загального користування у населених пунктах, оновлення функціонування електроосвітлення та технологічного зв'язку.

З метою запобігання та зниження забруднення атмосферного повітря транспортними та іншими пересувними засобами та установками та впливу пов'язаних з ними фізичних факторів здійснюються [4]:

• розробка та виконання комплексу заходів щодо зниження викидів, знешкодження шкідливих речовин та зменшення фізичного впливу при проектуванні, виробництві, експлуатації та ремонті транспортних та інших пересувних засобів та установок;

• переведення транспортних та інших пересувних засобів та установок на менш токсичні види палива;

• раціональне планування та забудова населених пунктів із дотриманням нормативно зазначеної відстані до транспортних шляхів;

• виведення із густонаселених житлових кварталів за межі міста транспортних підприємств, вантажного транзитного автомобільного транспорту;

• обмеження в'їзду автомобільного транспорту та інших транспортних

засобів та установок у Селітеб, курортні, лікувально-оздоровчі, рекреаційні та природно-заповідні зони, місця масового відпочинку та туризму;

• покращення стану утримання транспортних шляхів та вуличного покриття;

• впровадження у містах автоматизованих систем регулювання дорожнього руху;

• удосконалення технологій транспортування та зберігання палива, забезпечення постійного контролю за якістю палива на нафтопереробних підприємствах та автозаправних станціях;

• впровадження та вдосконалення діяльності контрольно-регулювальних та діагностичних пунктів та комплексних систем перевірки нормативів екологічної безпеки транспортних та інших пересувних засобів та установок.

Проектування, виробництво та експлуатація транспортних та інших пересувних засобів та установок, вміст забруднюючих речовин у відпрацьованих газах яких перевищує нормативи або рівні впливу фізичних факторів, забороняються.

З метою запобігання, зниження та досягнення безпечних рівнів виробничих та інших шумів повинні забезпечуватися [4]:

• створення та впровадження малошумних машин та механізмів;

• удосконалення конструкцій транспортних та інших пересувних засобів та установок та умов їх експлуатації, а також утримання у 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.

1.2 Характеристики шкідливих викидів АТЗ

П. 59 а глави III Міжнародної конвенції про дорожній рух [5], наказує, що механізми та пристрої автомобіля по можливості не повинні виділяти в надмірній кількості шкідливі гази, щільний дим, видавати неприємний запах. При дослідженні викидів в атмосферу проводять випробування для визначення димності [6], видимих викидів [7], а також оксиду вуглецю CO_2 і вуглеводню CH_4 [8] у відпрацьованих газах автомобілів.

1.2.1 Вимірювання параметрів димності

Димність АТЗ контролюють на відповідність нормам:

а) на підприємствах, що експлуатують та обслуговують автомобілі: при технічному обслуговуванні автомобілів, після ремонту або регулювання агрегатів, систем та вузлів, що впливають на димність, та під час вибіркових випробувань автомобілів;

б) на підприємствах технічного обслуговування та ремонту автомобілів: під час технічного обслуговування та ремонту автомобілів, після ремонту або регулювання агрегатів, систем та вузлів, що впливають на димність;

в) на підприємствах, що виробляють автомобілі та двигуни, під час випробування готової продукції;

г) під час випробувань автомобілів у дорожніх умовах;

д) під час державних технічних оглядів автомобілів;

е) при оцінці відповідності (сертифікації) автомобілів, що були у користуванні;

е) під час випробування автомобілів та двигунів з метою офіційного затвердження (сертифікації) та перевірені відповідності виробництва.

Рівень димності та методи її вимірювань встановлює ДСТУ 4276:2004 [6].

Основним нормованим параметром димності в [6] є коефіцієнт поглинання світла *K*, допоміжним – коефіцієнт ослаблення світла *N*.

Натуральний показник (коефіцієнт) поглинання *K*, $м^{-1}$ – величина зворотна товщині шару відпрацьованих газів, проходячи який потік випромінювання від джерела світла димоміри послаблюється в e раз.

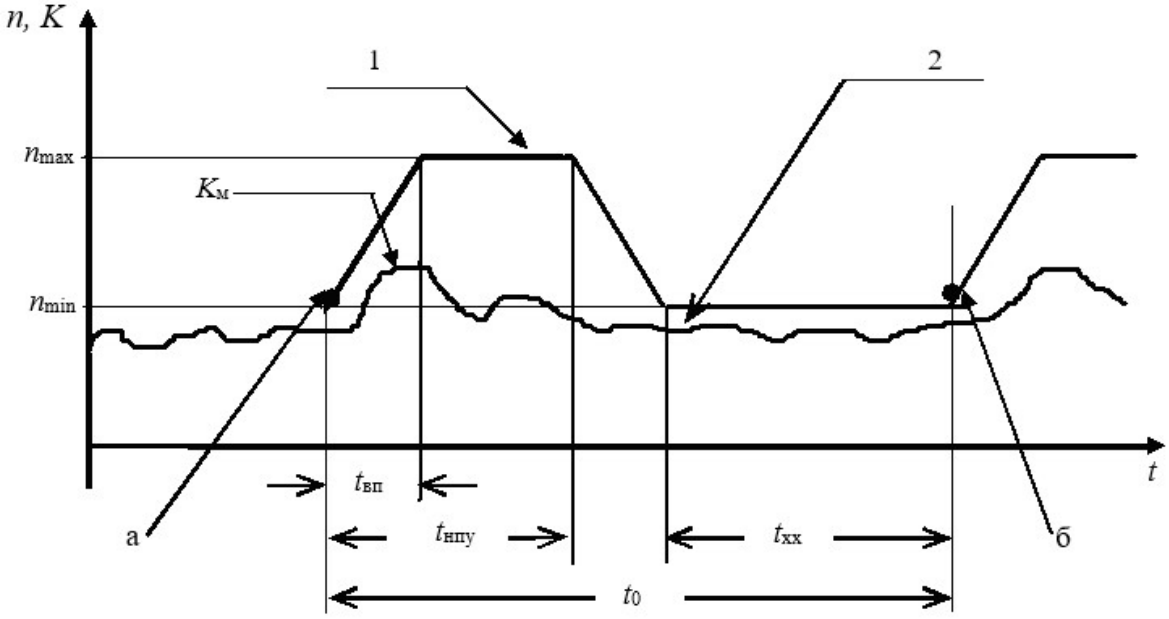
Лінійний показник (коефіцієнт) ослаблення *N*, % − ступінь ослаблення потоку випромінювання від джерела світла димоміру на відстані, що дорівнює ефективної бази димоміру, внаслідок поглинання та розсіювання світла відпрацьованими газами при проходженні ними вимірювальної камери.

Вимірювання параметрів димності проводять у режимі вільного прискорення зображено на рис. 1.1.

Перед вимірюванням димності необхідно:

- встановити важіль перемикання передач (вибирач швидкості для автомобілів з автоматичною коробкою передач) у нейтральне положення;
- загальмівати автомобіль стоянковим гальмлм;
- зупинити двигун (якщо він працював);
- підкласти під колеса автомобіля упорні колодки;
- відкрити капот моторного відсіку;
- підєднати пристрій для вимірювання температури моторної оливи;
- підєднати пробовідбиральну магістраль димоміра до випускної системи автомобіля;
- перевірити нульове положення стрілки (цифрового чи іншого пристрою, що реєструє результати вимірювання) димоміра;
- запустити двигун;
- безпосередньо перед випробуванням у режимі вільного прискорення дизелі з наддувом транспортних засобів категорії M_3 і N_3 та газодизелі мають пра-

цювати в режимі холостого ходу з мінімальною частотою оберьання колінчастого вала не менше ніж 10 с.



1 − частота обертання колінчастого валу двигуна (n); 2 − димність відпрацьованих газів двигуна (K); n_{min}, n_{max} − мінімальна максимальна та частота обертання, відповідно; t_o − загальний час одного циклу вільного прискорення (12 − 15 с); $t_{вп}$ − час вільного прискорення від n_{min} до n_{max} (1−2 с); $t_{нпу}$ − час натиснутої до упору педалі (2−3 с); $t_{хх}$ − час роботи на n_{min} (8 − 10 с); $K_м$ – максимальне значення димності в режимі вільного прискорення; а, б − початок 1-го та 2-го циклів вільного прискорення, відповідно.

Рисунок 1.1 − Характерні форми графіків залежності частоти обертання (n) та димності (k) від часу (t) за одиничний цикл вільного прискорення

1.2.2 Вимірювання видимих викидів вихлопних газів

Оцінка рівня видимих викидів здійснюється відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 49-02 (В) [7].

Вимоги цього стандарту застосовуються до викидів забруднюючих вихлопних газів і твердих частинок, що виділяються двигунами із запаленням від стиснення, двигунами з примусовим запаленням, що працюють на зрідженому нафтовому газі (ЗНГ), встановленими на автотранспортних засобах, розрахункова швидкість яких перевищує 25 км/ч і які належать до категорій M_1 загальною масою понад 3,5 т, M_2, M3, N_1, N_2 та N_3.

Тверді забруднюючі частинки – речовина, що уловлюється відповідним фільтруючим матеріалом після розрідження відпрацьованих газів, що виділяються двигуном з займанням від стиснення, чистим відфільтрованим повітрям при температурі, що не перевищує 325 К (52ºС). Забруднюючі ви-хлопные гази означають окис вуглецю, вуглеводні та оксиди азоту.

Частини, здатні впливати на виділення забруднюючих вихлопних газів і твердих частинок, повинні бути спроектовані, сконструйовані та встановлені таким чином, щоб у нормальних умовах експлуатації, незважаючи на вібрацію, двигун відповідав вимогам стандарту [7].

Значення маси окису вуглецю, вуглеводнів, окису азоту та твердих частинок не повинні перевищувати значень, зазначених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Граничні значення маси окису вуглецю, вуглеводнів, окису азоту та твердих частинок

	Маса окису вуглецю (CO), г/кВт·ч	Маса вугле-воднів (HC), г/кВт·ч	Маса окису азоту (NO_x), г/кВт·ч	Маса твердих частинок (PT), г/кВт·ч
A (1.7.92)	4,5	1,1	8,0	0,36
B (1.10.95)	4,0	1,1	7,0	0,15

Оцінка рівня видимих викидів здійснюється відповідно до вимог стандарту [7]. Тверді забруднюючі частинки – речовина, що уловлюється відповідним фільтруючим матеріалом після розрідження відпрацьованих газів, що виділяються

двигуном з займанням від стиснення, чистим відфільтрованим повітрям при температурі, що не перевищує 325 К (52ºС). Забруднюючі вихлопні гази означають окис вуглецю, вуглеводні та оксиди азоту.

Вимірювання кількості забруднюючих вихлопних газів і твердих частинок, що виділяються двигуном, представленим для випробувань проводиться на випробувальному стенді, з'єднаному з динамометром.

Вимірюються абсолютна температура (T) при впуску повітря в двигун, виражена в К, і сухий атмосферний тиск (ps) , виражений в кПа, а параметр F визначається відповідно до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Формули для параметра F для різних типів двигунів

№	Тип двигуна	Формула для F
1	Двигуни із звичайною подачею повітря та механічним нагнітачем	
1.1	Двигуни із запаленням від стиску	$F = \left(\frac{99}{ps}\right) \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,7}$
1.2	Двигуни з примусовим запалюванням	$F = \left(\frac{99}{ps}\right)^{0,65} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,5}$
2	Двигуни з турбонаддувом або без охолодження повітря, що подається	
2.1	Двигуни із запаленням від стиску	$F = \left(\frac{99}{ps}\right)^{0,7} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{1,5}$
2.2	Двигуни з іскровим запаленням	$F = \left(\frac{99}{ps}\right)^{0,65} \times \left(\frac{T}{298}\right)^{0,5}$

Випробування двигуна на динамометричному стенді має здійснюватися відповідно до циклу з 13 операцій, наведених у таблиці 1.3.

Щонайменше за дві години до проведення випробування кожен фільтр для вимірювання викидів забруднюючих твердих частинок поміщаються в закриту, але не опечатану чашку Петрі і поміщаються в камеру для зважування з метою стабілізації. Наприкінці періоду стабілізації кожен фільтр зважується, і реєструється вага тари. Потім фільтр зберігається в чашці Петрі, котра повинна

залишатися в камері для зважування або в опечатаному корпусі фільтра до проведення випробування. Якщо витягнутий з камери для зважування фільтр не використовується протягом однієї години, то перед використанням його необхідно повторно зважити.

Таблиця 1.3 – Режими роботи двигуна

№ операції	Випробувальний режим роботи двигуна	Навантаження у відсотках
1	холостий хід	-
2	проміжний режим	10
3	проміжний режим	25
4	проміжний режим	50
5	проміжний режим	75
6	проміжний режим	100
7	холостий хід	-
8	проміжний режим	100
9	проміжний режим	75
10	проміжний режим	50
11	проміжний режим	25
12	проміжний режим	10
13	холостий хід	-

Протягом кожного режиму циклу випробувань відхилення від встановленого числа оборотів двигуна повинно становити ±50 об/хв, а встановлений крутний момент − ±2% від максимального крутного моменту при випробувальному режимі роботи двигуна. Для двигунів із запаленням від стиснення температура палива на вході паливного насоса повинна становити 306-310 К (33 ºС – 43 °С). Регулятор і паливна система повинні бути відрегульовані відповідно до специфікацій заводу-виробника, зазначених у рекламних публікаціях та посібнику з експлуатації.

Для двигунів, що працюють на природному газі, температура палива та тиск

на виході редукційного клапана повинні знаходитися в межах значень, зазначених заводом-виробником; обмежувач швидкості та паливна система повинні бути відрегульовані відповідно до специфікацій заводу-виробника.

Для кожного випробування необхідно виконати такі операції.

1. Прилади та пробовідбірники повинні бути встановлені як потрібно. Якщо використовується система повного розрідження потоку вихлопних газів, то до цієї системи приєднується випускна труба, а регулювання впускного обмежування і протитиску вихлопних газів повинна бути знову скоригована відповідним чином. Весь потік повинен бути відрегульований таким чином, щоб температура розріджених вихлопних газів підтримувалася на рівні 325 К (52ºС), або нижче, безпосередньо перед входом у фільтри для уловлювання твердих частинок в режимі максимально нагрітого потоку, що визначається на підставі витрати вихлопних газів та/або температури.

2. Повинні бути включені система охолодження та система повного розрідження потоку або система часткового розрідження потоку, відповідно.

3. Необхідно включити двигун і прогріти його доти, доки температура і тиск не будуть врівноважені.

4. Повинна бути визначена крива крутного моменту при максимальному навантаженні експериментальним шляхом з метою розрахунку значень крутного моменту для запропонованих режимів випробування та для перевірки відповідності характеристик двигуна, виявлених при випробуванні, специфікаціями заводу-виробника. Скориговані характеристики не повинні відрізнятися від значень, оголошених заводом-виробником більш ніж на ±2% щодо максимальної корисної потужності і на ±4% щодо максимального ефективного моменту, що крутить. Повинна братися до уваги максимально допустима потужність, що споживається обладнанням, що приводиться в дію двигуном, заявлена заводом-виробником і застосовується до даного типу двигуна. Калібрування динамометра для кожного режиму та навантаження розраховується за допомогою наступної формули:

$$S = P_{\min} \frac{L}{100} + P_{\text{aux}}, \tag{1.1}$$

де S – калібрування динамометра; $P_{\min}$ – корисна мінімальна потужність двигуна; L – навантаження у відсотках; P_{aux} – загальна допустима потужність, споживана обладнання двигуна, за вирахуванням потужності обладнання, що приводиться в рух двигуном.

5. Аналізатори викидів повинні бути встановлені на нуль та вивірені. Включають систему забору твердих частинок. Якщо використовується система часткового розрідження потоку, коефіцієнт розрідження повинен бути таким, щоб температура розріджених вихлопних газів підтримувалася на рівні 325 К (52 °С) або нижче безпосередньо біля входу у фільтри для уловлювання твердих частинок в режимі максимального нагрівання потоку, що визначається на основні витрати вихлопних газів та/або температури.

6. Починають послідовне здійснення випробування. На кожному режимі двигун повинен працювати протягом 6 хв., причому число обертів двигуна і навантаження досягаються протягом першої хвилини. Показання аналізаторів реєструються протягом повних 6 хв., причому вихлопний газ має виходити через аналізатори принаймні протягом останніх 3 хвилин. Для забору проб твердих частинок в рамках повномасштабної процедури випробувань слід використовувати одну з пар фільтрів (основний і допоміжний фільтри). При використанні системи часткового розрідження потоку добуток коефіцієнта розрідження та витрати вихлопних газів у кожному режимі має бути в межах ±7% від середньої величини для всіх режимів. При використанні системи повного розрідження потоку загальна витрата по масі має бути в межах ±7% від середньої величини для всіх режимів. Маса проби, що проходить через фільтри уловлювання твердих частинок (MSAM), має бути скоригована для кожного режиму з урахуванням загального вагового коефіцієнта для кожного режиму та витрати вихлопних газів або палива за масою. Забір проб повинен проводитися щонайменше протягом 20 с. Забір проб

повинен проводитись, по можливості, в останні хвилини. Число оборотів двигуна та навантаження, температура повітря на впуску та витрата вихлопних газів повинні реєструватися протягом останніх 5 хвилин у кожному режимі, при цьому вимоги, що стосуються числа обертів двигуна та навантаження, повинні дотримуватися протягом часу забору проб твердих частинок принаймні протягом останньої хвилини в кожному режимі.

7. Будь-які додаткові дані, необхідні для розрахунків, повинні бути зчитані та записані.

8. Установка на нуль, а також регулювання шкал аналізаторів вихлопних газів повинні бути перевірені і, у разі потреби, повторені принаймні наприкінці випробування. Результати випробування вважаються задовільними, якщо регулювання, яке необхідно проводити після випробування, не перевищує величини точності аналізаторів.

Діапазон вимірювання аналізаторів повинен відповідати точності, яка потрібна для вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у взятих вихлопних газах.

Точність аналізаторів має бути ± 2,5% відхилень на всю шкалу або вище. Для концентрацій нижче 100 млн$^{-1}$, похибка вимірювання не повинна перевищувати ±3 млн$^{-1}$.

Після завершення випробувань реєструється загальна маса проб, що пройшла через фільтри (MSAM). Фільтри знову поміщають у камеру для зважування і доводять до кондиції щонайменше протягом 2 годин, але не більше 36 годин, а потім зважують. Реєструється вага-брутто фільтрів. Маса твердих частинок (Pf) являє собою суму значень маси твердих частинок, зібраних основним і допоміжним фільтрами.

Для прочитання графічних записів газоподібних викидів необхідно відзначити 60 останніх секунд кожного режиму та визначити середнє значення графічного запису для HC, CO та NOx протягом кожного режиму на основі середнього значення графічного запису та даних відповідного калібрування.

1.2.3 Вимірювання вмісту CO_2 і CH_4 у відпрацьованих газах автомобілів

Вміст оксиду вуглецю та вуглеводорів у відпрацьованих газах автомобілів контролюють відповідно до вимог стандарту [6] або Директиви 91/542/ЕЕС (В) [8]. Цей стандарт розроблений для забезпечення контролю в умовах експлуатації екологічних показників автомобілів та визначення відповідності екологічних параметрів нових автомобілів. Стандарт встановлює норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю (CO) і вуглеводнів (C_mH_m) у відпрацьованих газах автомобілів під час роботи двигуна в режимі холостого ходу.

Стандарт не поширюється на автомобілі, повна маса яких менше ніж 400 кг, або максимальна швидкість не перевищує 50 км/год, на автомобілі з двотактними двигунами і газодизелями.

Зміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів визначають при роботі двигуна в режимі холостого ходу для двох частот обертання колінчастого валу – мінімальної ($n_{мін}$) і підвищеної ($n_{підв}$), встановлені виробником [6].

Якщо значення цих частот не встановлено підприємством-виробником у технічних умовах або документах з експлуатації автомобіля, то перевіряють по $n_{мін}$ = 800 хв$^{-1}$ ± 100 хв$^{-1}$ і $n_{підв}$ = 2200 хв$^{-1}$ ± 100 хв$^{-1}$.

Перевірку автомобілів, що працюють на бензині, у режимі підвищеної частоти обертання здійснюють лише у разі обладнання двигуна карбюратором.

Будова, конструкція та якість виготовлення та складання агрегатів, вузлів та деталей автомобіля повинні забезпечувати виконання вимог стандарту [6] протягом усього терміну експлуатації, за умови дотримання правил експлуатації та обслуговування, зазначених у документах з експлуатації, які додають до автомобіля.

Контроль вмісту окису вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів здійснюють:

а) на підприємствах, що експлуатують і обслуговують автомобілі: при технічному обслуговуванні, після ремонту або регулювання агрегатів, систем і

вузлів, що впливають на вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах, при вибіркових перевірках автомобілів, а також на вимогу водіїв;

б) на підприємствах технічного обслуговування і ремонту автомобілів: під час технічного обслуговування автомобілів, після ремонту систем і вузлів, що впливають на вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах, а також на вимогу власників автомобілів;

в) на підприємствах, що виробляють двигуни та автомобілі: під час випробовування готової продукції;

г) при сертифікаційних випробуваннях та технічному нагляді за сертифікованою продукцією;

д) за державних технічних оглядів автомобілів;

е) під час перевірки автомобілів у дорожніх умовах.

Вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, не обладнаних системами нейтралізації газів, що відпрацювали, не повинен перевищувати межі, наведені в таблиці 1.4.

Для автомобілів, які проходять обкатку (пробігом до 3000 км), допустимий вміст вуглеводнів у відпрацьованих газах збільшується на 20% порівняно з даними таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Гранично-допустимий вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах, не обладнаних системами нейтралізації

Паливо, на якому працює двигун	Частота обертання	Оксид вуглецю, об'ємна частина, %	Вуглеводні, об'ємна частина, $млн^{-1}$, для двигунів з числом циліндрів	
			до 4 включно	більше 4
Бензин	$n_{мін}$ $n_{підв}$	3,5 2,0	1200 600	2500 1000
Газ природний	$n_{мін}$ $n_{підв}$	1,5 1,0	600 300	1800 600
Газ нафтовий скраплений	$n_{мін}$ $n_{підв}$	3,5 1,5	1200 600	2500 1000

Вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині та обладнані нейтралізаторами, не повинен перевищувати межі, наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Гранично-допустимий вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах, обладнаних системами нейтралізації

Частота обертання	Автомобілі з окислювальними нейтралізаторами		Автомобілі з трикомпонентними нейтралізаторами	
	Оксид вуглецю, об'ємна частина, %	Вуглеводні, об'ємна частина, млн$^{-1}$	Оксид вуглецю, об'ємна частина, %	Вуглеводні, об'ємна частина, млн$^{-1}$
$n_{мін}$	1,0	600	0,5	100
$n_{підв}$	0,6	300	0,3	100

Автомобілі, які можуть працювати як на бензині, так і на газовому паливі (причому одна із систем живлення двигуна є основною, друга – резервною), перевіряють лише при роботі на основному паливі. Автомобілі, які можуть працювати як на бензині, так і на газовому паливі (причому обидві системи живлення є рівноцінними), перевіряють під час роботи на обох видах палива.

Вимірювання оксиду вуглецю та вуглеводнів необхідно проводити в такій послідовності:

– встановити важіль перемикання передач (виборець швидкості для автомобілів з автоматичною коробкою передач) у нейтральне положення;

– загальмувати автомобіль гальмом стоянки;

- зупинити двигун (якщо він працював);

- підкласти під колеса автомобіля упорні колодки;

- відкрити капот моторного відсіку;

- приєднати тахометр і пристрій для вимірювання температури моторного масла;

– пробовідбірний зонд газоаналізатора до випускної труби автомобіля на глибину не менше 300 мм від зрізу (при косому зрізі заміряють від короткої кром-

ки зрізу);

– повністю відкрити повітряну заслінку.

- запустити двигун;

- збільшити частоту обертання валу двигуна до nпов і витримати цей режим протягом не менше 30 с (у разі випробування автомобіля з нейтралізатором необхідно витримати цей режим протягом 2-3 хв при температурі атмосферного повітря вище 0 °С і протягом 3-5 хв при температурі нижче 0 °С;

- встановити мінімальну частоту обертання валу двигуна nмін і після стабілізації показань газоаналізатора, але не пізніше ніж через 60 с, виміряти вміст оксиду вуглецю і вуглеводню (за результат вимірювання приймають середнє арифметичне значення між максимальним і мінімальним показаннями приладу за інтервал вимірювання);

- встановити підвищену частоту обертання валу двигуна nпов і після стабілізації показань газоаналізатора, але не пізніше ніж через 60 с, виміряти вміст оксиду вуглецю і вуглеводню (за результат вимірювання приймають середнє арифметичне значення між максимальним і мінімальним показаннями приладу інтервал вимірювання);

За результатами вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів заповнюють протокол.

Автомобіль, для якого вміст оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах не перевищує гранично допустимих значень, вважають таким, що пройшов випробування.

1.3 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 управлін-

ня 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.

Наведено методики вимірювання параметрів димності (коефіцієнта поглинання та ослаблення), видимих викидів вихлопних газів та вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводорів у відпрацьованих газах автомобілів.

2 МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ АТЗ ЗА РІВНЕМ ДИМНОСТІ

Димність АТЗ контролюють на відповідність нормам:

а) на підприємствах, що експлуатують та обслуговують автомобілі: при технічному обслуговуванні автомобілів, після ремонту або регулювання агрегатів, систем та вузлів, що впливають на димність, та під час вибіркових випробувань автомобілів;

б) на підприємствах технічного обслуговування та ремонту автомобілів: під час технічного обслуговування та ремонту автомобілів, після ремонту або регулювання агрегатів, систем та вузлів, що впливають на димність;

в) на підприємствах, що виробляють автомобілі та двигуни, під час випробування готової продукції;

г) під час випробувань автомобілів у дорожніх умовах;

д) під час державних технічних оглядів автомобілів;

е) при оцінці відповідності (сертифікації) автомобілів, що були у користуванні;

е) під час випробування автомобілів та двигунів з метою офіційного затвердження (сертифікації) та перевірені відповідності виробництва.

2.1 Схема виконання вимірювань

Рівень димності та методи її вимірювань встановлює ДСТУ 4276:2004 [6].

Основним нормованим параметром димності в [6] є коефіцієнт поглинання світла K, допоміжним – коефіцієнт ослаблення світла N.

Натуральний показник (коефіцієнт) поглинання K, $м^{-1}$ – величина зворотна товщині шару відпрацьованих газів, проходячи який потік випромінювання від джерела світла димоміри послаблюється в e раз:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{\Phi}{\Phi_0}\right), \tag{2.1}$$

де Ф – світловий потік від джерела світла димоміру, що реєструює фотоелемент після проходження потоку через вимірюване середовище відпрацьованих газів вимірювальної камери димоміру; Φ_0 – світловий потік від джерела світла димоміру, що реєструє фотоелемент після проходження потоку через чисте повітря у камері вимірювання димоміру, незаповненої відпрацьованими газами; L − ефективна база димоміру − довжина шляху (м), який проходить світловий потік крізь вимірюване середовище відпрацьованих газів постійної прозорості у камері вимірювання димоміру.

Лінійний показник (коефіцієнт) ослаблення N, % − ступінь ослаблення потоку випромінювання від джерела світла димоміру на відстані, що дорівнює ефективної бази димоміру, внаслідок поглинання та розсіювання світла відпрацьованими газами при проходженні ними вимірювальної камери:

$$N = 100 \cdot \left(1 - \frac{\Phi}{\Phi_0}\right). \tag{2.2}$$

Взаємозв'язок між значеннями N і K визначається виразами:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right), \text{ м}^{-1}; \tag{2.3}$$

$$N = 100 \cdot (1 - e^{-K \cdot L}), \text{ \%}. \tag{2.4}$$

Залежність (1.5) для бази L=0,43 м зображена на рис. 2.1.

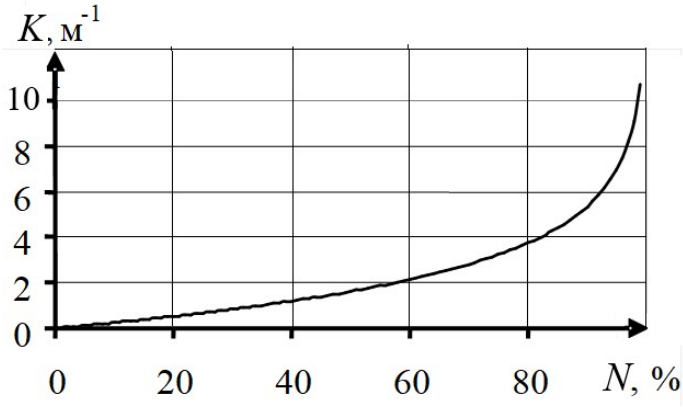


Рисунок 2.1 − Залежність коефіцієнта поглинання *K* від коефіцієнта ослаблення *N*

Димність вимірюють у наступній послідовності:

- при роботі двигуна в режимі холостого ходу на $n_{\min}$ рівномірно переміщають педаль за 0,5 - 1,0 с до упору; утримують педаль у цьому положенні 2 - 3 с, відпускають педаль і через 8 - 10 с приступають до виконання наступного циклу;

- цикли вільного прискорення повторюють щонайменше шість разів;

- вимірюють значення K на останніх чотирьох циклах вільного прискорення за максимальним показанням димомеру;

- виміряні значення K вважають достовірними, якщо чотири послідовних значення не утворюють спадної залежності і розташовуються в зоні шириною 0,25 $м^{-1}$;

- визначають середнє арифметичне значення чотирьох останніх вимірювань $\overline{K}$, яке приймається за результат вимірювання.

2.2 Оцінювання невизначеності вимірювань

Весь процес оцінювання значення невизначеності, можна представити у вигляді послідовності наступних етапів [9-13]:

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

2) оцінювання значень вхідних величин та їх стандартних невизначеностей;

3) розрахунок оцінки вихідної величини;

4) розрахунок стандартної невизначеності вихідної величини;

5) розрахунок розширеної невизначеності.

2.2.1 Оцінювання невизначеності прямого вимірювання коефіцієнту поглинання

Аналіз методики випробувань дозволяє записати модельне рівняння для коефіцієнта поглинання світла при його прямому вимірюванні, в наступному вигляді:

$$K = K_{ind} + \Delta_K , \tag{2.5}$$

де K_{ind} − величина коефіцієнта поглинання, що індикується димоміром; Δ_K − поправка на систематичну похибку димоміра, яка знаходиться при його калібруванні.

Оцінку K_{ind} знаходять за результатами чотирьохразового вимірювання коефіцієнта поглинання $K_{ind\,i}$ за формулою:

$$\overline{K}_{ind} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} K_{ind\,i} . \tag{2.6}$$

Оцінку систематичної похибки димоміру $\hat{\Delta}_K$ беруть з сертифіката його калібрування.

Тому виміряне значення коефіцієнта поглинання знаходять за формулою:

$$\hat{K} = \overline{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K , \tag{2.7}$$

З модельного рівняння (2.5) слідує вираз для сумарної стандартної невизначеності прямого вимірювання $\overline{K}$ [9]:

$$u_c(\hat{K}) = \sqrt{u_A^2(\overline{K}_{ind}) + u_B^2(\hat{\Delta}_K)}, \tag{2.8}$$

де стандартна невизначеність вимірювань $u_A(\overline{K}_{ind})$, яка оцінена за типом A для 4 спостережень, буде дорівнювати:

$$u_A(\overline{K}_{ind}) = \sqrt{\frac{1}{4(4-1)}\sum_{i=1}^{4}(K_{ind\,i} - \overline{K}_{ind})^2}, \tag{2.9}$$

а стандартну невизначеність за типом B $u_B(\hat{\Delta}_K)$ оцінюють через розширену невизначеність U_K та коефіцієнт охоплення k_K, які взяті з сертифікату калібрування димоміру в режимі вимірювання коефіцієнту поглинання:

$$u_B(\hat{\Delta}_K) = \frac{U_K}{k_K}. \tag{2.10}$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту поглинання $U(\hat{K})$ буде визначатися формулою:

$$U(\hat{K}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{K}), \tag{2.11}$$

де $t_{0,95}(\nu_{eff})$ − коефіцієнт Стьюдента для ймовірності, приблизно рівної 0,95 (точне значення 0,9545) та ефективного числа степенів свободи ν_{eff}, яке отримують з формули Велча-Саттерсвейта [9]:

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left[u_c(\hat{K})/u_A(\bar{K})\right]^4. \qquad (2.12)$$

Бюджет невизначеності пряого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 2.1.

Він відображає результати всіх наведенних вище резхультатів: перелік вхідних величин та іх значення, стандартні невизначеності та числа степенів свободи, коефіцієнти чутливості та внески невизначеності вхідних величин у невизначеність вимірюваної величини, а також інформацію про вимірювану величину: значення, стандартну сумарну та розширену невизначеність, ефективне число степенів свободи, коефіцієнт охоплення.

Таблица 2.1 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту поглинання

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, м$^{-1}$	Стандартні невизначеності вхідных величин, м$^{-1}$	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, м$^{-1}$
K_{ind}	(2.6)	(2.9)	3	1	$u_A(\bar{K}_{ind})$
Δ_K	$\hat{\Delta}_K$	(2.10)	∞	1	$u_B(\hat{\Delta}_K)$
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, м$^{-1}$	Сумарна стандартна невизначеність, м$^{-1}$	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, м$^{-1}$
K	(2.7)	(2.8)	(2.12)	$t_{0,95}(\nu_{eff})$	(2.11)

2.2.2 Оцінювання невизначеності прямого вимірювання коефіцієнту ослаблення

Модельне рівняння для коефіцієнта ослаблення світла при його прямому вимірюванні, можно записати в наступному вигляді:

$$N = N_{ind} + \Delta_N , \tag{2.13}$$

де N_{ind} − величина коефіцієнта ослаблення, що індикується димоміром; Δ_N − поправка на систематичну похибку димоміра, яка знаходиться при його калібруванні.

Оцінку N_{ind} знаходять за результатами чотирьохразового вимірювання коефіцієнта ослаблення $N_{ind\,i}$ за формулою:

$$\overline{N}_{ind} = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} N_{ind\,i} . \tag{2.14}$$

Оцінку систематичної похибки димоміру $\hat{\Delta}_N$ беруть з сертифіката його калібрування в режимі вимірювання коефіцієнту ослаблення.

Тому виміряне значення коефіцієнта ослаблення знаходять за формулою:

$$\hat{N} = \overline{N}_{ind} + \hat{\Delta}_N , \tag{2.15}$$

З модельного рівняння (2.13) слідує вираз для сумарної стандартної невизначеності прямого вимірювання N [9]:

$$u_c(\hat{N}) = \sqrt{u_A^2(\overline{N}_{ind}) + u_B^2(\hat{\Delta}_N)} , \tag{2.16}$$

де стандартна невизначеність вимірювань $u_A(\overline{N}_{ind})$, яка оцінена за типом A для 4 спостережень, буде дорівнювати:

$$u_A(\overline{N}) = \sqrt{\frac{1}{4(4-1)}\sum_{i=1}^{4}(N_{ind\,i} - \overline{N}_{ind})^2} , \tag{2.17}$$

а стандартну невизначеність за типом B $u_B(\hat{\Delta}_N)$ оцінюють через розширену невизначеність U_N та коефіцієнт охоплення k_N, взяті з сертифікату калібрування димоміру в режимі вимірювання коефіцієнту поглинання:

$$u_B(\hat{\Delta}_N) = \frac{U_N}{k_N}. \tag{2.18}$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту ослаблення $U(\hat{N})$ буде визначатися формулою:

$$U(\hat{N}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{N}), \tag{2.19}$$

де $t_{0,95}(\nu_{eff})$ − коефіцієнт Стьюдента для ймовірності, приблизно рівної 0,95 (точне значення 0,9545) та ефективного числа степенів свободи ν_{eff}, яке отримують з формули Велча-Саттерсвейта [9]:

$$\nu_{eff} = (4-1) \cdot \left[u_c(\hat{N}) / u_A(\bar{N}) \right]^4. \tag{2.20}$$

Бюджет невизначеності пряого вимірювання коефіцієнта ослаблення наведено в табл. 2.2.

Він відображає результати всіх наведенних вище результатів: перелік вхідних величин та іх значення, стандартні невизначеності та числа степенів свободи, коефіцієнти чутливості та внески невизначеності вхідних величин у невизначеність вимірюваної величини, а також інформацію про вимірювану величину: значення, стандартну сумарну та розширену невизначеність, ефективне число степенів свободи, коефіцієнт охоплення.

Таблица 2.2 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту ослаблення

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, %	Стандартні невизначеності вхідных величин, %	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, %
N_{ind}	(2.14)	(2.17)	3	1	$u_A(\bar{K}_{ind})$
Δ_N	$\hat{\Delta}_K$	(2.18)	∞	1	$u_B(\hat{\Delta}_N)$
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, %	Сумарна стандартна невизначеність, %	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, %
N	(2.15)	(2.16)	(2.20)	$t_{0,95}(\nu_{eff})$	(2.19)

2.2.3 Оцінювання невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнту поглинання

При непрямому вимірюванні коефіцієнту поглинання K шляхом перерахунку через значення коефіцієнта ослаблення N, виміряне димоміром, через вирази (2.4) та (2.5) отримуємо таке модельне рівняння:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(\frac{N + \Delta_N}{100}\right), . \qquad (2.\ 21)$$

Оцінку N_{ind} знаходять за результатами чотирьохразового вимірювання коефіцієнта ослаблення $N_{ind\,i}$ за формулою (2.1), а оцінку систематичної похибки димоміру $\hat{\Delta}_N$ беруть з сертифіката його калібрування в режимі вимірювання коефіцієнту ослаблення. Тому виміряне значення коефіцієнта ослаблення знаходять за формулою:

$$\hat{K} = -\frac{1}{\hat{L}} \cdot \ln\left(1 - \frac{\bar{N}_{ind} + \hat{\Delta}_N}{100}\right). \tag{2.22}$$

З модельного рівняння (2.21) слідує вираз для сумарної стандартної невизначеності непрямого вимірювання $\hat{K}$ [9]:

$$u_c(\hat{K}) = \sqrt{c_N^2 \cdot u_A^2(\bar{N}_{ind}) + c_\Delta^2 \cdot u_B^2(\hat{\Delta}_N)}\,, \tag{2.23}$$

де стандартна невизначеність вимірювань $u_A(\bar{N}_{ind})$ визначається за формулою (2.17), стандартну невизначеність за типом B $u_B(\hat{\Delta}_N)$ оцінюють за формулою (2.18) , коефіцієнти чутливості c_N та c_Δ обчислюються за формулами:

$$c_N = \frac{\partial \hat{K}}{\partial \bar{N}} = \frac{1}{\hat{L}(100 - \bar{N}_{ind} - \hat{\Delta}_N)}\,, \tag{2.24}$$

$$c_\Delta = \frac{\partial \hat{K}}{\partial \hat{\Delta}_N} = \frac{1}{\hat{L}(100 - \bar{N}_{ind} - \hat{\Delta}_N)}\,. \tag{2.25}$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту поглинання $U(\hat{K})$ буде визначатися як:

$$U(\hat{K}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{K})\,, \tag{2.26}$$

де $t_{0,95}(\nu_{eff})$ − коефіцієнт Стьюдента для ймовірності, приблизно рівної 0,95 (точне значення 0,9545) та ефективного числа степенів свободи ν_{eff}, яке отримують з формули Велча-Саттерсвейта [9]:

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left\{u_c(\hat{K})/[c_N \cdot u_A(\bar{N})]\right\}^4. \qquad (2.27)$$

Бюджет невизначеності непряого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту поглинання

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, %	Стандартні невизначеності вхідных величин, %	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості, м$^{-1}$/%	Внески невизначеності, м$^{-1}$
N_{ind}	(2.14)	(2.17)	3	(2.24)	(2.17)·(2.24)
Δ_N	$\hat{\Delta}_N$	(2.18)	∞	(2.25)	(2.18)·(2.25)
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, м$^{-1}$	Сумарна стандартна невизначеність, м$^{-1}$	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, м$^{-1}$
K	(2.22)	(2.23)	(2.27)	$t_{0,95}(\nu_{eff})$	(2.26)

2.2.4 Оцінювання невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнту ослаблення

При непрямому вимірюванні коефіцієнту ослаблення N шляхом перерахунку через значення коефіцієнта поглинання K, виміряне димоміром, через вирази (2.4) та (2.7) отримуємо таке модельне рівняння:

$$N = 100\cdot[1 - e^{-(K+\Delta_K)\cdot L}]. \qquad (2.\ 28)$$

Оцінку K знаходять за результатами чотирьохразового вимірювання коефіцієнта ослаблення $K_{ind\,i}$ за формулою (2.6), а оцінку систематичної похибки димоміру $\hat{\Delta}_N$ беруть з сертифіката його калібрування в режимі вимірювання

коефіцієнту ослаблення. Тому виміряне значення коефіцієнта ослаблення знаходять за формулою:

$$\hat{N} = 100 \cdot [1 - e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}}]. \tag{2.29}$$

З модельного рівняння (2.28) слідує вираз для сумарної стандартної невизначеності непрямого вимірювання $\hat{N}$ [9]:

$$u_c(\hat{N}) = \sqrt{c_K^2 \cdot u_A^2(\bar{K}_{ind}) + c_\Delta^2 \cdot u_B^2(\hat{\Delta}_K)}, \tag{2.30}$$

де стандартна невизначеність вимірювань $u_A(\bar{K}_{ind})$ визначається за формулою (2.9), стандартну невизначеність за типом B $u_B(\hat{\Delta}_N)$ оцінюють за формулою (2.10), коефіцієнти чутливості c_K та c_Δ обчислюються за формулами:

$$c_K = \frac{\partial \hat{N}}{\partial \bar{K}} = 100 \cdot \hat{L} \cdot e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}}, \tag{2.31}$$

$$c_\Delta = \frac{\partial \hat{N}}{\partial \hat{\Delta}_K} = 100 \cdot \hat{L} \cdot e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}}. \tag{2.32}$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту ослаблення $U(\hat{N})$ буде визначатися як:

$$U(\hat{N}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{N}), \tag{2.33}$$

де $t_{0,95}(\nu_{eff})$ − коефіцієнт Стьюдента для ймовірності, приблизно рівної 0,95 (точне значення 0,9545) та ефективного числа степенів свободи ν_{eff}, яке отримують з формули Велча-Саттерсвейта [9]:

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left\{u_c(\hat{N})\big/[c_K \cdot u_A(\bar{K}_{ind})]\right\}^4. \qquad (2.34)$$

Бюджет невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Бюджет невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнта ослаблення

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, м$^{-1}$	Стандартні невизначеності вхідных величин, м$^{-1}$	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості, %·м	Внески невизначеності, %
K_{ind}	(2.6)	(2.9)	3	(2.31)	(2.9)·(2.31)
Δ_K	$\hat{\Delta}_K$	(2.10)	∞	(2.32)	(2.10)·(2.32)
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, %	Сумарна стандартна невизначеність, %	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, %
N	(2.29)	(2.30)	(2.34)	$t_{0,95}(\nu_{eff})$	(2.33)

2.3 Висновки до розділу 2

1. Розглянуто методики вимірювання параметрів димності АТЗ.

2. Розроблено процедури оцінювання невизначеності прямих та непрямих вимірювань коефіцієнтів поглинання та ослаблення.

3. Для всіх процедур сконструйовано бюджети невизначеності, які дозволяють побудувати на їх основі програмні засоби для автоматизації оцінювання невизначеності вимірювань під час випробувань АТЗ за параметрами димності.

3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ ПРОЦЕДУР ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

В табл. 3.1 наведені результати випробувань автомобіля Mercedes 15т у технічно справному стані за рівнем димності: результати 4-разових вимірювань значень коефіцієнта поглинання світла K, м$^{-1}$ та коефіцієнта ослаблення світла N, %, виконаних за допомогою димоміру ІНФРАКАР-Д в сертифікаті калібрування якого указані розширені невизначеністі $U_K = 0,05$ м$^{-1}$ та $U_N = 2,0$ % та коефіцієнти охоплення $k_K = k_N$=2 для рівня довіри *p*, який приблизно дорівнює 0,95. Оцінки систематичної похибки (зміщення) димоміра з сертифіката калібрування $\hat{\Delta}_K = \hat{\Delta}_N = 0$. Оптична база димоміру L дорівнює 0,43 м.

Необхідно оцінити числові значення та розширені невизначеності вимірювання коефіцієнтів поглинання та ослаблення світла прямим та непрямим методами, скласти бюджети невизначеності та записати повні результати вимірювання для рівня довіри *p*, який приблизно дорівнює 0,95.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання параметрів димності

Параметр димності	1-й замір	2-й замір	3-й замір	4-й замір
K_{ind}, м$^{-1}$	0,340	0,430	0,459	0,430
N_{ind}, %	13,6	16,88	17,9	16,88

3.1 Пряме вимірювання коефіцієнту поглинання

Користуючись данними табл. 3.1 та формулою (2.6), розрахуємо значення коефіцієнта поглинання:

$$\hat{K} = \overline{K}_{ind} = \frac{0,340 + 0,430 + 0,459 + 0,430}{4} = 0,415 \text{ м}^{-1}.$$

Стандартна невизначеність типу *A* коефіцієнту поглинання, розрахована за формулою (2.9), буде дорівнювати:

$$u_A(\overline{K}_{ind}) = \sqrt{\frac{1}{4(4-1)}\sum_{i=1}^{4}(K_{ind\,i} - \overline{K}_{ind})^2} = 0{,}0258 \text{ м}^{-1}.$$

Стандартна інструментальну невизначеність за типом *B* димоміра оцінюють через розширену невизначеність $U_K = 0{,}05$ м$^{-1}$ та коефіцієнт охоплення k_K =2, які взяті з сертифікату калібрування димоміру в режимі вимірювання коефіцієнту поглинання:

$$u_B(\hat{K}) = \frac{U_K}{k_K} = \frac{0{,}05}{2} = 0{,}025 \text{ м}^{-1}.$$

Користуючись виразом (2.8), розрахуємо сумарну стандартну невизначеність прямого вимірювання $\hat{K}$:

$$u_c(\hat{K}) = \sqrt{u_A^2(\overline{K}_{ind}) + u_B^2(\hat{\Delta}_K)} = \sqrt{0{,}0258^2 + 0{,}025^2} = 0{,}036 \text{ м}^{-1}.$$

Значення ефективного числа степенів свободи ν_{eff} отримуємо з формули Велча-Саттерсвейта (2.12):

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left[u_c(\hat{K})/u_A(\overline{K})\right]^4 = 3\left[0{,}036/0{,}0258\right]^4 = 11{,}2.$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту поглинання $U(\hat{K})$ буде визначатися формулою (2.11):

$$U(\hat{K}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{K}) = 2,54 \cdot 0,036 = 0,081 \text{ м}^{-1}.$$

Бюджет невизначеності пряого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту поглинання

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, м$^{-1}$	Стандартні невизначеності вхідных величин, м$^{-1}$	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, м$^{-1}$
K_{ind}	0,415	0,0258	3	1	0,0258
Δ_K	0	0,025	∞	1	0,025
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, м$^{-1}$	Сумарна стандартна невизначеність, м$^{-1}$	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, м$^{-1}$
K	0,415	0,036	11,2	2,54	0,081

Повний результат вимірювання коефіцієнта поглинання таким чином буде дорівнювати:

$$K = (0,415 \pm 0,081)\text{м}^{-1},\ p = 0,95.$$

3.2. Пряме вимірювання коефіцієнту ослаблення

Користуючись данними табл. 3.1 та формулою (2.14), розрахуємо значення коефіцієнта ослаблення:

$$\hat{N} = \bar{N}_{ind} = \frac{13,60 + 16,88 + 17,90 + 16,88}{4} = 16,32\ \%.$$

Стандартна невизначеність типу *A* коефіцієнту ослаблення, розрахована за формулою (2.17), буде дорівнювати:

$$u_A(\overline{N}) = \sqrt{\frac{1}{4(4-1)}\sum_{i=1}^{4}(N_{ind\,i} - \overline{N}_{ind})^2} = 0{,}938\ \%.$$

Стандартна інструментальну невизначеність за типом *B* димоміра оцінюють через розширену невизначеність $U_N = 1{,}0$ % та коефіцієнт охоплення k_K=2, які взяті з сертифікату калібрування димоміру в режимі вимірювання коефіцієнту поглинання:

$$u_B(\hat{N}) = \frac{U_N}{k_N} = \frac{2{,}0}{2} = 1{,}0\ \%.$$

Користуючись виразом (2.16), розрахуємо сумарну стандартну невизначеність прямого вимірювання $\hat{N}$:

$$u_c(\hat{N}) = \sqrt{u_A^2(\overline{N}_{ind}) + u_B^2(\hat{\Delta}_N)} = \sqrt{0{,}934^2 + 1{,}0^2} = 1{,}37\ \%.$$

Значення ефективного числа степенів свободи ν_{eff} отримуємо з формули Велча-Саттерсвейта (2.20):

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left[u_c(\hat{N})/u_A(\overline{N}_{ind})\right]^4 = 3(1{,}37/0{,}938)^4 = 13{,}65.$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту ослаблення $U(\hat{N})$ буде визначатися формулою (2.19):

$$U(\hat{N}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{N}) = 2,21 \cdot 1,37 = 3,032 \ \%.$$

Бюджет невизначеності пряого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту ослаблення

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, %	Стандартні невизначеності вхідных величин, %	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості	Внески невизначеності, %
N_{ind}	16,32	0,938	3	1	0,938
Δ_N	0	0,5	∞	1	0,5
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, %	Сумарна стандартна невизначеність, %	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, %
N	16,32	1,37	13,65	2,21	3,0

Повний результат вимірювання коефіцієнта ослаблення таким чином буде дорівнювати:

$$N = (16,3 \pm 3,0)\%, \ p = 0,95.$$

3.3 Непряме вимірювання коефіцієнту поглинання

При непрямому вимірюванні коефіцієнту поглинання $\hat{K}$ шляхом перерахунку через значення коефіцієнта ослаблення $\overline{N}$, виміряне димоміром, отримуємо таке значення вимірюваної величини:

$$\hat{K} = -\frac{1}{\hat{L}} \cdot \ln\left(1 - \frac{\overline{N} + \hat{\Delta}_N}{100}\right) = -\frac{1}{0,43} \cdot \ln\left(1 - \frac{16,3 + 0}{100}\right) = \frac{-0,178}{-0,43} = 0,414 \ \text{м}^{-1}.$$

Сумарну стандартну невизначеність непрямого вимірювання $\hat{K}$ будемо розраховувати за формулою (2.23), в якій коефіцієнти чутливості c_N та c_Δ обчислюються за формулами (2.24) та (2.25):

$$c_N = \frac{\partial \hat{K}}{\partial \bar{N}} = \frac{1}{\hat{L}(1-\bar{N}_{ind}-\hat{\Delta}_N)} = \frac{1}{0,43\cdot(100-16,3-0)} = 0,0248 \text{ м}^{-1}/\% ;$$

$$c_\Delta = \frac{\partial \hat{K}}{\partial \hat{\Delta}_N} = \frac{1}{\hat{L}(1-\bar{N}_{ind}-\hat{\Delta}_N)} = \frac{1}{0,43\cdot(100-16,3-0)} = 0,0248 \text{ м}^{-1}/\% ,$$

тобто

$$u_c(\hat{K}) = \sqrt{c_N^2 \cdot u_A^2(\bar{N}_{ind}) + c_\Delta^2 \cdot u_B^2(\hat{\Delta}_N)} = \sqrt{0,0248^2[0,938^2+1,0^2]} = 0,034 \text{ м}^{-1}.$$

Значення ефективного числа степенів свободи ν_{eff} отримуємо з формули Велча-Саттерсвейта (2.27):

$$\nu_{eff} = (4-1)\cdot\left\{u_c(\hat{K})/[c_N \cdot u_A(\bar{N})]\right\}^4 = 3(0,034/[0,0248\cdot 0,938])^4 = 13,7 .$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту поглинання $U(\hat{K})$ буде визначатися як:

$$U(\hat{K}) = t_{0,95}(\nu_{eff})\cdot u_c(\hat{K}) = 2,21\cdot 0,034 = 0,075 \text{ м}^{-1}.$$

Бюджет невизначеності непряого вимірювання коефіцієнта поглинання наведено в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Бюджет невизначеності прямих вимірювань коефіцієнту поглинання

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, %	Стандартні невизначеності вхідных величин, %	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості, м$^{-1}$/%	Внески невизначеності, м$^{-1}$
N_{ind}	16,3	0,938	3	0,0248	0,0233
Δ_N	0	1,0	∞	0,0248	0,0248
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, м$^{-1}$	Сумарна стандартна невизначеність, м$^{-1}$	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, м$^{-1}$
K	0,414	0,034	13,7	2,21	0,075

Повний результат непрямого вимірювання коефіцієнту поглинання таким чином буде дорівнювати:

$$K = (0,414 \pm 0,075)\,\text{м}^{-1},\ p = 0,95.$$

3.4 Непряме вимірювання коефіцієнту ослаблення

При непрямому вимірюванні коефіцієнту ослаблення $\hat{N}$ шляхом перерахунку через значення коефіцієнта поглинання $\hat{K}$, виміряне димоміром, отримуємо таке значення вимірюваної величини:

$$\hat{N} = 100 \cdot [1 - e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}}] = 100 \cdot [1 - e^{-(0,415+0) \cdot 0,43}] = 16,33\ \%.$$

Сумарну стандартну невизначеність непрямого вимірювання $\hat{N}$ будемо розраховувати за формулою (2.30), в якій коефіцієнти чутливості c_K та c_Δ обчислюються за формулами (2.31) та (2.32):

$$c_K = \frac{\partial \hat{N}}{\partial \bar{K}} = 100 \cdot \hat{L} \cdot e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}} = 100 \cdot 0,43 \cdot e^{-(0,415+0) \cdot 0,43} = 35,98 \text{ %·м},$$

$$c_\Delta = \frac{\partial \hat{N}}{\partial \hat{\Delta}_K} = 100 \cdot \hat{L} \cdot e^{-(\bar{K}_{ind} + \hat{\Delta}_K) \cdot \hat{L}} = 100 \cdot 0,43 \cdot e^{-(0,415+0) \cdot 0,43} = 35,98 \text{ %·м},$$

тобто

$$u_c(\hat{N}) = \sqrt{c_K^2 \cdot u_A^2(\bar{K}_{ind}) + c_\Delta^2 \cdot u_B^2(\hat{\Delta}_K)} = \sqrt{35,98^2 \cdot (0,0258^2 + 0,025^2)} = 1,29 \text{ %}.$$

Значення ефективного числа степенів свободи ν_{eff} отримуємо з формули Велча-Саттерсвейта (2.34):

$$\nu_{eff} = (4-1) \cdot \left\{ u_c(\hat{N}) \big/ [c_N \cdot u_A(\bar{N})] \right\}^4 = 3(1,29 \big/ [35,98 \cdot 0,025])^4 = 11,25.$$

Розширена невизначеність вимірювання коефіцієнту ослаблення $U(\hat{N})$ буде визначатися як:

$$U(\hat{N}) = t_{0,95}(\nu_{eff}) \cdot u_c(\hat{N}) = 2,25 \cdot 1,29 = 2,91 \text{ м}^{-1}.$$

Повний результат непрямого вимірювання коефіцієнту ослаблення таким чином буде дорівнювати:

$$N = (16,3 \pm 2,9)\%, \; p = 0,95.$$

Бюджет невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнта ослабленнянаведено в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Бюджет невизначеності непрямого вимірювання коефіцієнта ослаблення

Вхідні величини	Оцінки вхідних величин, м$^{-1}$	Стандартні невизначеності вхідных величин, м$^{-1}$	Число степенів свободи	Коефіцієнти чутливості, %·м	Внески невизначеності, %
K_{ind}	0,415	0,0258	3	35,98	0,93
Δ_K	0	0,025	∞	35,98	0,9
Вимірювана величина	Оцінка вимірюваної величини, %	Сумарна стандартна невизначеність, %	Ефективне число степенів свободи	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, %
N	16,33	1,29	11,25	2,25	2,9

3.5 Висновки до розділу 3

1. Проведено розрахунки невизначеності прямих та непрямих вимірювань коефіцієнтів поглинання та ослаблення для всіх методик, розроблених у дипломній роботі.

2. Розраховані числові дані представлені у вигляді бюджетів невизначеності.

3. Записані результати вимірювань для рівня довіри, який приблизно дорівнює 0,95, які показали добре співпадіння результатів прямих та непрямих вимірювань параметрів димності АТЗ.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було проведено аналітичний огляд характеристик димності АТЗ. 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 димності АТЗ.

Розроблено процедури оцінювання невизначеності прямих та непрямих вимірювань коефіцієнтів поглинання та ослаблення.

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

4. Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546). Документ 1264-XII, чинний, поточна редакція — Редакція від 15.11.2024, підстава - 4017-I.

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

6. ДСТУ 4277-2004 Атмосфера. Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі.

7. Regulation No 49 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) – Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition engines and positive ignition engines for use in vehicles.

8. Council Directive 91/542/EEC of 1 October 1991 amending Directive 88/77/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the measures to be taken against the emission of gaseous pollutants from diesel engines for use in vehicles.

9. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of

uncertainty in measurement. JCGM, 2008, 134 p.

10. Захаров І.П. Стандартизація оцінювання якості вимірювань / І.П. Захаров // Стандартизація, сертифікація, якість, 2005. – №1. – С. 41 – 47.

11. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment: JCGM 106:2012. − BIPM, 2012. − 48 p.

12. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation : ISO/TS 21748:2004. ISO, 2004. − 30 p.

13. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Third Edition.− EURACHEM/CITAC Guide CG4, 2012. − 141 p.