

Національний державний технічний університет
«Державний автомобільний університет»
Кафедра автомобілів та транспортно-менеджменту



Написання технічного звіт про результати експертного діагностування
автомобіля внутрішнього з'їзду в умовах приватного підприємства
товариства «Старокостинівський спеціалізований кар'єр» село
Красносілка Хмельницького району Хмельницької області»



Виконав: студент 3-го курсу, групи
ТАТ-23м спеціальності 274
Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма
Автомобільний транспорт
Різдів С.Р.

Керівник: к.т.н., професор каф. АТМ
Поліщук А.П.
2024 р.



Опонує: к.т.н., доцент каф. ТАМ
Сухоруків С.І.
2024 р.

Додатково до звіт
Заступник кафедри АТМ
к.т.н., доц. Цимбалі С.В.
2024 р.



Вінницький ВНТУ 2024 рік

Національний національний технічний університет
Факультет автомобілебудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 22 – Транспорт
Спеціальність – 224 – Автомобільний транспорт
Спеціальна професійна програма – Автомобільний транспорт



ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 16 » 09 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ ТА
ТРАНСПОРТНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

1. Тема роботи: Підвищення точності методів і систем екологічного діагностування транспортних двигунів в умовах ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований ремонтний кар'єр».

Поліщук Андрій Павлович, д.т.н., професор,
затверджені наказом ВНТУ від «17» вересня 2024 року № 310.

2. Строк подання здобувачем роботи: 09.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу літературних джерел та патентного пошуку за темою досліджень, вимоги нормативних документів до методів, технологій та обладнання для проведення контролю показників токсичності відпрацьованих газів та факторів фізичного впливу на довкілля транспортних ДВЗ, законодавство України в галузі екології транспорту і безпеки життєдіяльності, технічні характеристики об'єкту дослідження: універсальної системи контролю екологічних показників ДВЗ мікроуніверс до МК1-2.

4. Зміст текстової частини:

- 1.1 Систематизація вимог нормативних документів до обладнання, процедур та методів контролю екологічних показників транспортних двигунів (ГД).
- 1.2 Аналіз методів підвищення точності та універсальності систем екологічної діагностики ГД.
- 1.3 Експериментальні результати систем екологічної діагностики ГД з мікроуніверсом.
- 1.4 Дослідження методів підвищення точності систем екологічного діагностування ГД.
- 1.5 Інформаційні засоби та способи контролю параметрів мікроуніверсу в випробувальних стендах.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- 1.1 Тема, мета та завдання дослідження.
- 1.2 Аналіз базових інструментів ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований КАР'ЄР».
- 1.3 Навчово-практичні основи створення універсальних систем екологічного діагностування ГД.
- 1.4 Нормативні вимоги щодо процедур діагностування ГД.

- © Інститути розвитку проекту (роботи)

Дата видачі закінчення – 18-го вересня 2021

КАДЕНТАРНИЙ ПЛАН

Дубина

Рядов C, P

ВЕРИЛИК РОЖЕ

Повинь злочук А.І.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.43.068

Рзаєв С.Р. Підвищення точності методів і систем екологічного діагностування транспортних двигунів в умовах ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований гранітний кар'єр». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2024. 102 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 59 назви; рис.: 36; табл. 14.

В магістерській кваліфікаційній роботі систематизовано вимоги нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 та стандарту ISO 8178 до обладнання, процедур та методів контролю екологічних показників транспортних двигунів (ТД), проаналізовано методи підвищення точності та універсальності систем екологічної діагностики ТД, вивчено технічні характеристики експериментального зразку системи екологічної діагностики ТД з мікротунелем, досліджено методи підвищення точності системи екологічного діагностування ТД та розглянуто інноваційні засоби та способи контролю параметрів мікротунелів і випробувальних стендів. На базі гальмівного стенду автотракторного дизеля 4ЧН12/14 проведено розрахункові дослідження інформаційних методів підвищення точності універсальної системи екологічної діагностики ТД – мінітунеля МКТ-2 та обґрунтовано доцільність використання компенсаційного методу відпрацьованих газів з вихлопної труби двигуна.

Графічна частина складається з 16 слайдів.

Ключові слова: транспортний двигун, відпрацьовані гази, токсичність, діагностика, універсальність, мікротунель, точність.

ABSTRACT

UDC 629.43.068

Rzaev S.R. Increasing the accuracy of methods and systems for environmental diagnostics of transport engines in the conditions of PrJSC "Starokostyantynivka Specialized Granite Quarry". Master's qualification work on specialty 274 - Road transport, educational program - Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2024. 102 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 59 titles; Fig.: 36; table 14.

The master's qualification work systematizes the requirements of regulatory documents - UNECE Regulations R-49, R-83, R-96 and ISO 8178 standard for equipment, procedures and methods for monitoring environmental indicators of transport engines (TE), analyzes methods for increasing the accuracy and versatility of TE environmental diagnostics systems, studies the technical characteristics of an experimental sample of the TD environmental diagnostics system with a microtunnel, investigates methods for increasing the accuracy of the TD environmental diagnostics system, and considers innovative means and methods for controlling the parameters of microtunnels and test stands. On the basis of the brake stand of the 4CHN12/14 tractor diesel engine, computational studies of information methods for increasing the accuracy of the universal TD environmental diagnostics system - the MKT-2 minitunnel were conducted and the feasibility of using the compensation method of exhaust gases from the engine exhaust pipe was substantiated.

The graphic part consists of 16 slides.

Key words: transport engine, exhaust gases, toxicity, diagnostics, universality, microtunnel, accuracy.



ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕДУР ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ (ТД)	7
1.1 Систематизація вимог нормативних документів щодо обладнання, процедур та методів контролю екологічних показників теплових двигунів.....	15
1.2 Принципи підвищення універсальності частковопотокових систем розбавлення EG повітрям – мікротунелів.....	7
1.3 Концепція створення універсальних систем екологічного діагностування ДВЗ на базі частковопотокових тунелів.....	8
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА УНІВЕРСАЛЬНОСТІ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТД	15
2.1 Принцип дії та основні елементи універсального вимірювального комплексу з мікротунелем МКТ-2.....	23
2.2 Прилади та обладнання для контролю фізичних і хімічних забруднень навколишнього середовища двигунами.....	28
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ЗРАЗОК СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТД З МІКРОТУНЕЛЕМ	33
3.1 Систематизація методів та методик визначення показників хімічного та фізичного впливу ДВЗ на довкілля.....	33
3.2 Метод компенсації проби EG в мікротунелі, його переваги над диференційним методом.....	34
3.3 Експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ.....	37
3.4 Результати експериментального відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ на натурних об'єктах.....	40

РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТД.....	49
4.1 Інформаційні методи підвищення точності вимірювань нормованих показників токсичності теплових двигунів.....	49
4.2 Оцінка економічної ефективності способу прискореного виміру викидів РТ з ЕГ тепловозних дизелів.....	54
РОЗДІЛ 5 ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ТА СПОСОБИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОТУНЕЛІВ І ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТЕНДІВ....	64
5.1 Нові засоби і способи контролю масових та об'ємних витрат газових проб.....	64
5.2 Нові елементи арматури в пневматичних та гідравлічних системах розподілу та регулювання подачею робочого середовища.....	68
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТОК А	85
ДОДАТОК Б	101



ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення:

ВТ – вихлопна труба двигуна;
 ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;
 ІКП – ізокінетичний пробовідбірник;
 ЛВ – лінія відбору проб РТ.

Умовні позначення:

EG – відпрацьовані гази двигуна (від exhaust gases);
 PS – забруднюючі речовини (від polluting substances);
 РТ – тверді частинки (від particles);
 FSM – метод прискореного відбору проб (від fast sampling method);
 G_{exh} – масова витрата нерозбавлених EG двигуна;
 q – коефіцієнт розбавлення EG повітрям;
 РМ – нормований питомий викид РТ з EG, /кВт·год;
 PM_{massi} – масовий викид РТ з EG на i -му режимі випробувань, г/год;
 PM_{mass} – середній за випробувальний цикл масовий викид РТ з EG, г/год;
 P_i – ефективна потужність ДВЗ на i -му режимі випробувань, кВт;
 WF_i – регламентований ваговий фактор, який враховує відносний час роботи двигуна на i -му режимі в процесі експлуатації;
 n – абсолютне значення числа обертів вала двигуна, xv^{-1} ; частках одиниці;
 L – навантаження двигуна – відношення крутного моменту до максимального значення при даному n , %;

ВСТУП

Актуальність теми. Відомо, що екологічність є одним з найбільш важливих показників якості сучасних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Це обумовлено їх значним негативним впливом, в першу чергу, хімічного та фізичного характеру на довкілля. Сумарна частка у забрудненні атмосферного повітря міського середовища ДВЗ транспортного призначення є суттєвою і досягає 70%. Систематичні викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами двигунів призводять до підвищення канцерогенної небезпеки довкілля, погіршення показників її якості та виникнення глобальних та регіональних екологічних проблем. У зв'язку з цим актуальним напрямком досліджень є створення систем екологічного діагностування ДВЗ широкого призначення, які дозволяють ефективно оцінювати вплив цих об'єктів на довкілля.

Найбільш чутливим і точним обладнанням для визначення концентрацій та викидів PS, що утворюються при згорянні вуглеводних палив, є розбавляючі тунелі, які використовуються при проведенні екологічної сертифікації автомобільних та інших транспортних ДВЗ [1-3]. Це обумовлено тим, що серед різних типів ДВЗ автомобільні двигуни характеризуються найнижчими допустимими рівнями концентрацій PS у EG, які за останні 20 років – при переході від норм EURO-3 до EURO-6 зменшились у 2,5...10 разів [4]. Також тунелі характеризуються високою швидкістю та здатні вимірювати миттєві значення концентрацій PS у EG при випробуваннях ДВЗ за їздовими та транзієнтними циклами, зокрема [6]: European Transient Cycle (ETC), New European Driving Cycle (NEDC) та Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC).

Серед існуючих типів тунелів найбільш мобільним та компактним, а також найменш вартісним – з середньою ціною до 100 тис. дол. США обладнанням є мікротунелі (МКТ), які характеризуються: діаметром та довжиною трубопроводу розбавлення EG – 2,5...4 см і 25...40 см, відповідно; коефіцієнтом розбавлення EG – 4...35 продуктивністю пробовідбірного обладнання – 60...125 лт/хв. [5].

При створенні сучасних вимірювальних систем для визначення екологічних показників ДВЗ ставляться такі цілі: забезпечення високої точності та економічної ефективності використання, забезпечення широкої галузі застосування та значного строку експлуатації обладнання; підвищення його компактності та мобільності; [8]. Тому завдання створення на базі МКТ універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ з застосуванням методу регульованого динамічного розбавлення повітрям газової проби та вживаються заходи з підвищення її ефективності, є актуальним та доцільним.

Даною роботою передбачається удосконалення систем екологічної діагностики транспортних двигунів шляхом впровадження інноваційних технічних рішень, які дозволяють підвищити точність визначення нормованих показників токсичності двигуна та зменшити вартість пробовідбірного обладнання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до науково-дослідної тематики кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи:* поглиблений аналіз науково-технічної інформації щодо розробки, експериментального відпрацювання та підвищення точності методів і систем екологічного діагностування ТД за нормованими показниками токсичності ВГ.

Завдання роботи:

1) Аналіз та систематизація вимог міжнародних стандартів щодо методів, процедур випробувань та обладнання для визначення нормованих показників, що характеризують хімічний та фізичний вплив ТД на довкілля.

2) Розробка принципової схеми та алгоритму роботи універсальної системи екологічного діагностування ТД, обґрунтування вибору штатних приладів та обладнання.

3) Створення методики оцінювання ефективності систем екологічного діагностування ТД за критеріями точності вимірювань, швидкодії, тривалості та вартості процедури випробувань.

4) Проведення експериментального відпрацювання та досліджень точності методів і систем екологічного діагностування ТД на натурних об'єктах.

5) Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності систем екологічного діагностування ТД.

Проблема, що розглядається: зменшення негативного впливу транспортних двигунів на навколишнє середовище.

Об'єкт дослідження: двигуни внутрішнього згорання, як найпотужніші джерела забруднення атмосфери міст.

Предмет дослідження: універсальна система екологічного діагностування ТД на базі частковопотокового розріджувача відпрацьованих газів (ВГ) повітрям – мікротунеля.

Новизна одержаних результатів.

Удосконалено інноваційні методи та засоби контролю показників хімічного та фізичного забруднення довкілля транспортними ДВЗ, в результаті використання яких підвищується точність систем екологічного діагностування ТД, а саме: мікротунелів, газоаналізаторів, елементів арматури пневматичних та гідравлічних систем, датчиків вібрацій, крутного моменту, тощо.

Практичне значення одержаних результатів.

Проведено експериментальне відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування теплових двигунів на базі моторних стендів транспортних двигунів – автотракторного дизеля 4ЧН12/14 і бензинового двигуна легкового автомобіля ВАЗ 21081. Запропоновано інформаційні методи підвищення точності створеної системи, які було відпрацьовано в ході випробувань дизелів 4ЧН12/14, Д65М і ДЕЛ-01 за циклами Правил ЄЕК ООН R-49, R-96, стандарту ISO-8178.

Достовірність теоретичних положень даної роботи підтверджується доведенням адекватності розроблених інноваційних методів підвищення ефективності контролю нормованих екологічних показників транспортних ДВЗ шляхом використання відомих статистичних методів обробки інформації.

Апробація результатів роботи на наукових конференціях. Основні положення магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на XVII міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Житомир, 21–23 жовтня 2024 р.) [42].

Публікації. Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці апробаційного характеру.



РОЗДІЛ 1 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОБЛАДНАННЯ, ПРОЦЕДУР ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ (ТД)

Екологічна характеристика базового підприємства – ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований гранітний кар'єр»

ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований гранітний кар'єр»
ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований кар'єр» виробник високоякісної гранітної продукції: щебню, бутового каменю, відсіву та гранітних сумішей – міцних та надійних матеріалів для капітального і дорожнього будівництва. Вся щебенева продукція сертифікована та проходить постійний радіологічний контроль. Весь асортимент продукції відноситься до 1-го класу і підходить для всіх видів будівництва. (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Розташування та загальний вигляд виробничих ділянок базового підприємства

На підприємстві існує зручна інфраструктура – залізнична гілка, автомобільні під'їзди, пункти навантаження та зважування, які заощадають час та кошти при придбанні будівельних матеріалів.

Протягом 60-ти років діяльності кар'єру шляхом удосконалення виробничих процесів, модернізації виробничих ліній, заміною застарілого обладнання перетворилось на потужне стабільне підприємство.

ПрАТ «Старокостянтинівський спеціалізований кар'єр – був, є і залишиться надійним партнером для всіх, хто знає та співпрацює з підприємством.

Особливу увагу на базовому підприємстві приділяють екологічній безпеці транспортних засобів, що знаходяться у експлуатації, оскільки вони здійснюють значний хімічний і фізичний вплив на довкілля і працюючий персонал

1.1 Систематизація вимог нормативних документів щодо обладнання, процедур та методів контролю екологічних показників ДВЗ

Нормативні вимоги щодо систем розбавлення EG теплових двигунів повітрям – тунелів. В еталонних *повнопотокових системах розбавлення EG* реалізована концепція відбору проб при постійному об'ємі – CVS (рис. 1.2). При цьому масова витрата розбавлених EG в тунелі підтримується постійною та створюється трубою Вентурі з критичною витратою CFV або компресором об'ємного типу PDP. В цих системах відсутня необхідність розраховувати коефіцієнт розбавлення EG, що є суттєвою перевагою перед частковопотоковими системами повнопотокових тунелів. Проба розбавлених EG то трубопроводу PTT зі змішувального каналу DT подається в лінію (рис. 1.3) відбору проб PT, де вона пропускається через вторинний розбавляючий тунель (рис. 1.4) або робочий фільтр.

Частковопотокові тунелі у порівнянні з еталонними системами є більш складними вимірювальними системами, оскільки в них необхідно вимірювати та регулювати коефіцієнт розбавлення EG повітрям, який має позначення q .

Частковопотокові системи поділяються на три типи в залежності від способу визначення даної величини розбавлення EG:

– мінітунелі з ізокінетичним пробовідбірником; при цьому коефіцієнт q визначається за відомими значеннями коефіцієнту відбору EG - r_{exh} та масової витрати розбавляючого повітря – G_{dil} :

$$q = \frac{G_{\text{dil}} + (r_{\text{exh}} \cdot G_{\text{exh}})}{r_{\text{exh}} \cdot G_{\text{exh}}}$$

– міні- та мікротунелі з керуванням потоками розбавлених EG- G_1 та повітря G_{dil} ; в цих системах величина q визначається диференціальним методом за різницею масових витрат вказаних потоків:

$$q = \frac{G_t}{G_t - G_{\text{dil}}}$$

– міні- та мікротунелі з вимірюванням концентрацій індикаторних газів; величина q визначається за концентраціями CO_2 або NO_x , які вимірюються у повітрі, розбавлених та первинних EG (можливо визначення концентрацій CO_2 у первинних EG за допомогою методу вуглецевого балансу):

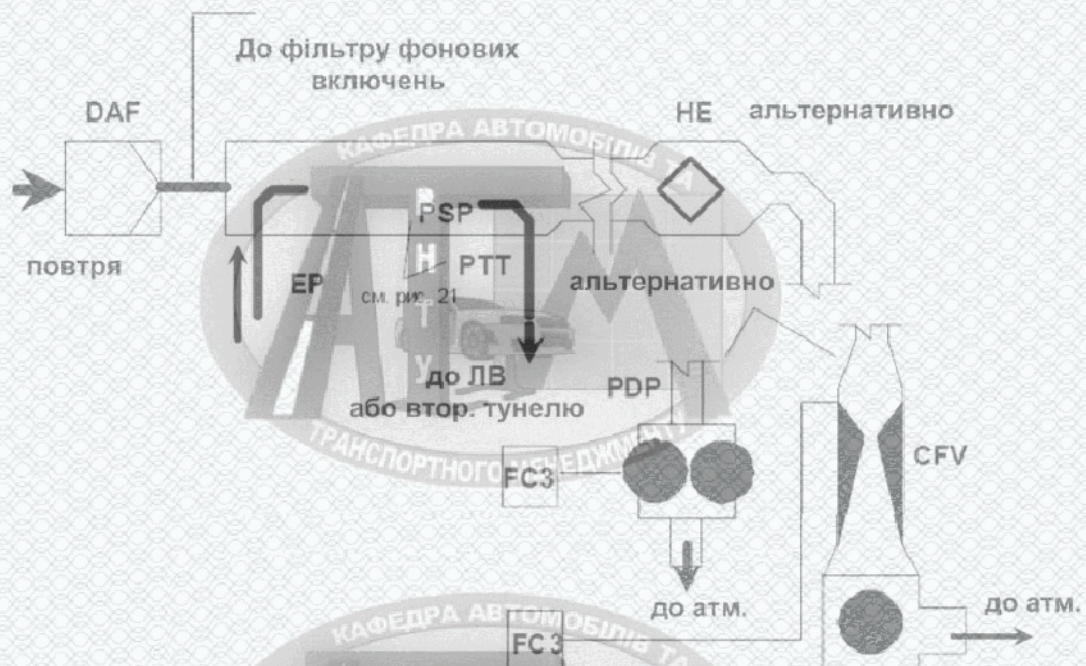


Рисунок 1.2 – принципова схема повнопотокового (еталонного) тунелю

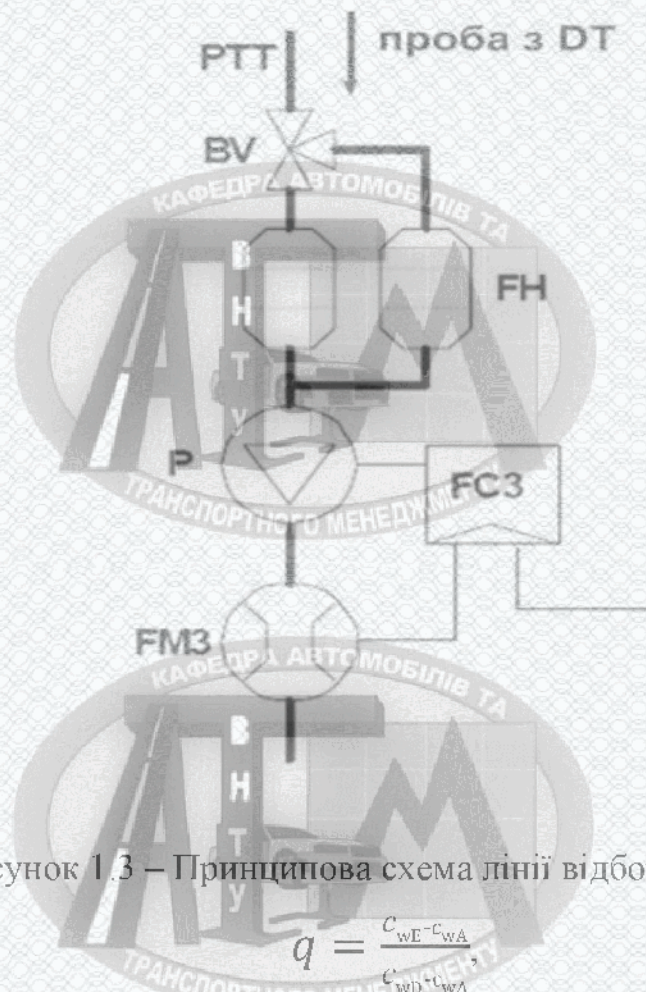


Рисунок 1.3 – Принципова схема лінії відбору проб РТ

$$q = \frac{C_{wE} - C_{wA}}{C_{wD} - C_{wA}},$$

де c_{wE} – концентрація (на вологій основі) індикаторного газу у первинних EG; c_{wD} – концентрація (на вологій основі) індикаторного газу в розбавлених EG; c_{wA} – концентрація (на вологій основі) індикаторного газу в повітрі;

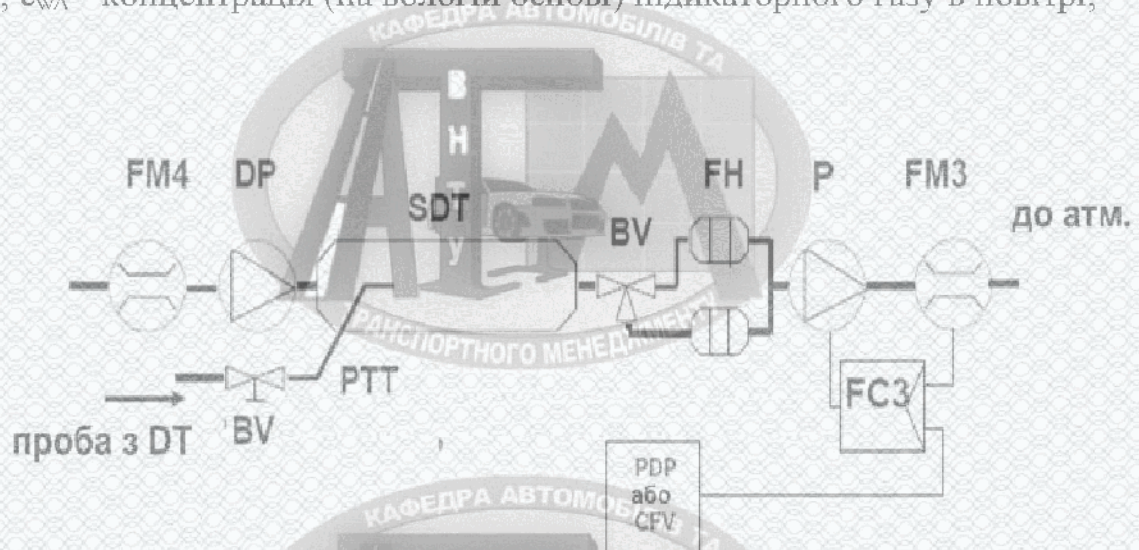


Рисунок 1.4 – Принципова схема вторинного розбавляючого тунелю

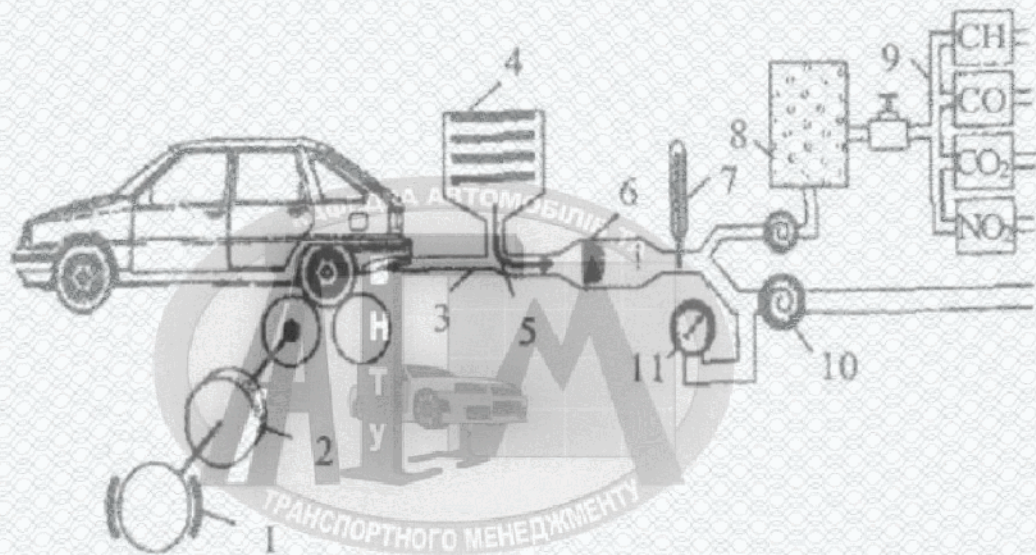


Рисунок 1.6 – Бігові барабани для випробувань транспортного заходу з ДВЗ

2) випробування на сталих режимах (кількість таких режимів різниться у різних стандартах), коли вимірювання проводяться в умовах постійності швидкісного та навантажувального режимів;

Нормовані середньоексплуатаційні показники викидів газоподібних PS і твердих частинок з EG транспортних двигунів різних типів – GAS_x і PM визначається в ході виконання випробувальних циклів, які складаються з певної кількості режимів випробувань; для кожного з режимів встановлені нормовані значення вагового фактору – WF (враховує відносний час роботи дизеля на режимі в процесі експлуатації), числа обертів – n , навантаження – L , та тривалості випробувань – t .

Процедура випробувань двигунів вантажних автомобілів та автобусів і являє собою цикл ESC встановлений Правилами ЄЕК ООН R-49 [24] – 13-ступінчастий Європейський стаціонарний цикл – European Stationary Cycle, (табл. 1.1, рис. 1.7).

Значення А, В та С чисел обертів, які є визначальними для циклу ESC, встановлюються за допомогою виразів:

$$A = n_{lo} + 0,25 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

$$B = n_{lo} + 0,50 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

$$C = n_{lo} + 0,75 \cdot (n_{hi} - n_{lo});$$

де n_{lo} - найменша частота обертів, при якій досягається 50% заявленої корисної потужності двигуна - P ;

n_{hi} - найбільша частота обертів, при якій досягається 75% від P .

Таблиця 1.1 - Режими випробувального циклу ESC (R-49)

№ _{реж}	n	L, %	WF	τ, хв
1	хол. хід	-	0,15	4
2	A	100	0,08	2
3	B	50	0,10	2
4	B	75	0,10	2
5	A	50	0,05	2
6	A	75	0,05	2
7	A	25	0,05	2
8	B	100	0,09	2
9	B	25	0,10	2
10	C	100	0,08	2
11	C	25	0,05	2
12	C	75	0,05	2
13	C	50	0,05	2

При випробуваннях тепловозних дизелів використовують цикли: вітчизняний – 5- ступінчастий цикл ДСТУ 32.001-94, що складається з 5-х нормованих режимів та його міжнародний аналог, встановлений стандартом 8178 [25] (табл. 1.2). Випробування дизелів сільськогосподарського призначення – тракторів і комбайнів проводяться у відповідності до Правил СЕК ООН R-96 [26] за циклом, який складається з 8-ми режимів (табл. 1.3).

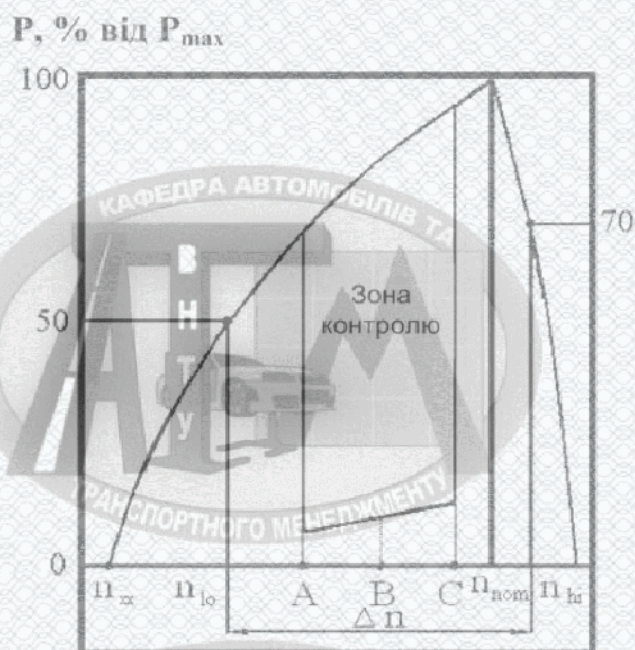


Рисунок 1.7 – Визначальні значення числа обертів для циклу ESC

Таблиця 1.2 – Випробувальні цикли тепловозних дизелів

Цикл		ISO 8178-F			ДСТУ 32.001-94				
№ режиму		1	2	3	1	2	3	4	5
% від $P_{(nom)}$		100	35	хол.хід	100	75	50	25	хол.хід
WF	Магістр	0,25	0,15	0,60	0,06	0,13	0,11	0,10	0,60
	Вивіз				0,25	0,03	0,03	0,02	0,67
	Маневр				0,005	0,015	0,12	0,40	0,46

Примітка. Скорочення означають: Магістр., Вивіз., Маневр. – робота тепловозу: магістральна, вивізні та маневрова, відповідно.

Нормативні вимоги щодо методів визначення екологічних показників ДВЗ за результатами випробувань. Для виміру середнеексплуатаційних викидів газоподібних забруднюючих речовин з EG

дизеля - GAS_x можуть використовуватися два способи: аналіз EG, розбавлених чистим повітрям і аналіз «сирих» (не розбавлених) EG.

Таблиця 1.3 – Випробувальний цикл дизелів сільськогосподарського призначення (R-96)

№ _{реж}	n	L, %	WF
1	НОМ.	100	0,15
2		75	0,15
3		50	0,15
4		10	0,1
5	ПРОМ.	100	0,1
6		75	0,1
7		50	0,1
8	ХОЛ. ХІД	-	0,15

При першому способі виміру GAS_x застосовується система розбавлення повного потоку EG дизеля повітрям в спеціальному трубопроводі (розбавляючому тунелі) при постійній масовій витраті суміші EG і повітря. Назва такої системи – CVS (від англ. Constant Volume Sampling). Системою CVS проводиться вимір на кожному режимі випробувань концентрацій забруднюючих речовин в розбавлених ОГ – $conc_i$, що дозволяє визначити масові викиди даних речовин $M_{GAS_{xi}}$:

$$M_{GAS_{xi}} = u \cdot conc_i \cdot G_{edf_i}, \text{ кг/год,}$$

де G_{edf} – масова витрата розбавлених EG в тунелі, яка дорівнює помноженню масової витрати EG – G_{exhi} на коефіцієнт розбавлення EG, кг/год.

Другий спосіб передбачає вимір на кожному режимі випробувань концентрацій забруднюючих речовин в ОГ – $conc_i$ (у ppm) і обчислення масових викидів даних речовин – $M_{GAS_{xi}}$:

$$M_{GAS_{xi}} = u \cdot conc_i \cdot G_{exh_i}, \text{ кг/год,}$$

де u – емпіричні коефіцієнти, які дорівнюють: для CH – $0,479 \cdot 10^{-3}$; для CO – $0,966 \cdot 10^{-3}$; для NO_x – $1,587 \cdot 10^{-3}$; G_{exh_i} – масова витрата EG у випускній системі дизеля на i -м режимі, кг/год.

При використанні обох способів показники GAS_x обчислюються наступним чином:

$$GAS_x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} M_{GAS_{xi}} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{ei} \cdot WF_i}, \text{ кг/кВт} \times \text{год,}$$

де n – число режимів випробувань; WF_i – ваговий чинник i -го режиму; P_{ei} – ефективна потужність дизеля, зміряна на i -м режимі, кВт.

Вимір середнеексплуатаційного викиду РТ з EG дизеля – РТ проводиться з використанням розбавляючих тунелів.

Показник РТ обчислюється за формулою:

$$PT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} PT_{massi} \cdot WF_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{ei} \cdot WF_i}, \text{ кг/кВт} \times \text{год.}$$

При цьому, з причини високої вартості і громіздкості повнопотокових CVS-систем, допускається використання міні- і мікро- тунелів, в яких розбавляється повітрям невелика частка від повного потоку EG двигуна. На кожному режимі випробувального циклу проводиться вимір масових викидів РТ з EG дизеля – PT_{massi} :

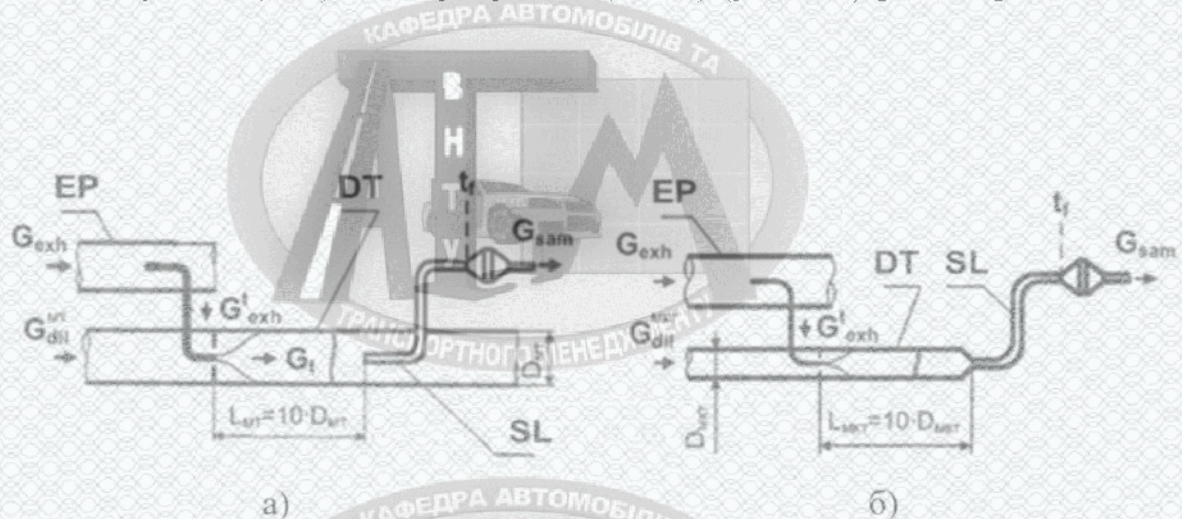
$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{M_{sami}} \cdot \frac{G_{edfi}}{1000}, \text{ кг/год,}$$

де M_{fi} – маса, навішування РТ, зібрана на фільтрах, г; M_{sami} – маса розбавлених ЕГ, що пройшла через фільтри для відбору РТ, кг.

Таким чином, при визначенні показників GAS_x вимірюються параметри: при аналізі «сирих» ЕГ – con_{ci} , G_{exhi} або при аналізі розбавлених ЕГ – G_{edfi} і P_{ci} , а при визначенні показника РТ вимірюються: M_{fi} , M_{sami} , G_{exhi} і P_{ci} . Таким чином, похибки вимірювань даних параметрів являються складовими результуючих похибок вимірів величин GAS_x і РТ.

1.2 Принципи підвищення універсальності частковопотокових систем розбавлення ЕГ повітрям – мікротунелів

На сучасному етапі екологізації сфер транспорту та комунальної енергетики вирішують актуальну задачу підвищення універсальності обладнання для контролю нормованих показників токсичності ДВЗ – можливості використання одних і тих самих вимірювальних систем при дослідженні різних об'єктів. З метою вирішення цієї задачі на основі світового досвіду розробки та експлуатації розбавляючих тунелів запропоновано концепцію створення універсальних систем екологічного діагностування ДВЗ на базі мінітунелів (МТ) та мікротунелів (МКТ) (рис. 1.8) [10 - 12].



а) мінітунель; б) мікротунель

Рисунок 1.8 – Принципові схеми частковопотокових систем проб ЕГ двигуна

Запропонована концепція створення на базі мікротунелів та мінітунелів універсальних автоматизованих систем екологічної сертифікації ДВЗ базується на чотирьох основних принципах:

1) *підвищення компактності та функціональності обладнання* за рахунок мінімізації масогабаритних показників тунелів, що дозволяє підвищити їх мобільність, зручність у експлуатації, зменшити продуктивність пробовідбірних систем, енергетичні і економічні витрати на обслуговування;

2) *підвищення динамічності систем пробопідготовки і відбору проб P_S* шляхом використання малоінерційних методів контролю робочих процесів, що дозволяє забезпечити можливість використання МТ і МКТ при виконанні високодинамічних випробувальних циклів – European Transient Cycle (ETC), Worldwide heavy-duty transient cycle (WHTC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC) та ін. [12, 15];

3) *підвищення точності гравіметричного методу визначення дисперсних P_T* за рахунок зменшення його методичної та інструментальної похибок, що дозволяє забезпечити потрібну точність МТ і МКТ в умовах оновлення норм токсичності теплових двигунів;

4) *модернізація програмного забезпечення та алгоритму роботи тунелів* шляхом врахування в них існуючих і перспективних методик обробки даних процедур та екологічного діагностування двигунів різного призначення, що дозволяє збільшити сферу застосування МТ і МКТ.

1.3 Концепція створення універсальних систем екологічного діагностування ДВЗ на базі мікротунелів

З метою створення науково-практичної бази для підвищення універсальності МКТ систематизовано результати теоретичних та експериментальних досліджень у період 2012-2024 рр.; ці результати досліджень можна розділити на наступні групи.

Математичні моделі для визначення показників ефективності та технічних характеристик систем розбавлення EG:

- *математична модель теплового стану проби в тунелі, що дозволяє визначати робочі параметри процесу розбавлення EG повітрям в тунелі – температуру газової проби перед фільтром для відбору РТ та коефіцієнт розбавлення [16, 17]; ці параметри повинні відповідати умовам розбавлення EG в еталонному тунелі з повним розбавленням EG, що забезпечує зменшення методичної похибки гравіметричного методу вимірювань викидів РТ;*
- *комплексна математична модель оцінки ефективності систем розбавлення EG за критеріями: вартості процедури випробувань, потрібної витрати палива на проведення випробувань та точності вимірювань [20]; ця модель дозволяє проводити оптимізацію технічних та експлуатаційних параметрів МКТ за вказаними критеріями;*
- *математична модель для визначення результуючої похибки контролю масового викиду PS як суми її методичних та інструментальної складових [18, 19]; ця модель дозволяє оцінювати точність МКТ, визначати вплив на неї умов розбавлення EG повітрям та похибок обладнання вимірювальної системи.*

Нові методи контролю проби EG і концентрації PS в тунелі:

- *метод прискореного виміру масових викидів PS з EG двигунів, який дозволяє визначати нормовані екологічні показники ДВЗ з мінімально можливими витратами часу при умові забезпечення потрібної точності вимірювань [22]; цей метод є найбільш затребуваним у екологічному діагностуванні габаритних ДВЗ – суднових, тепловозних та ін., випробування яких мають високу вартість та характеризуються значними витратами палива;*
- *метод динамічного контролю викидів РТ з оптико-електронним чутливим елементом, який дозволяє визначати поточні значення концентрацій РТ у EG при роботі дизеля на несталих та сталих нормованих режимах випробувань [23].*

Макетні зразки систем контролю масових викидів PS з EG дизелів, розроблені у відповідності до вимог міжнародних стандартів (рис. 1.9, 1.10) [9-12]:

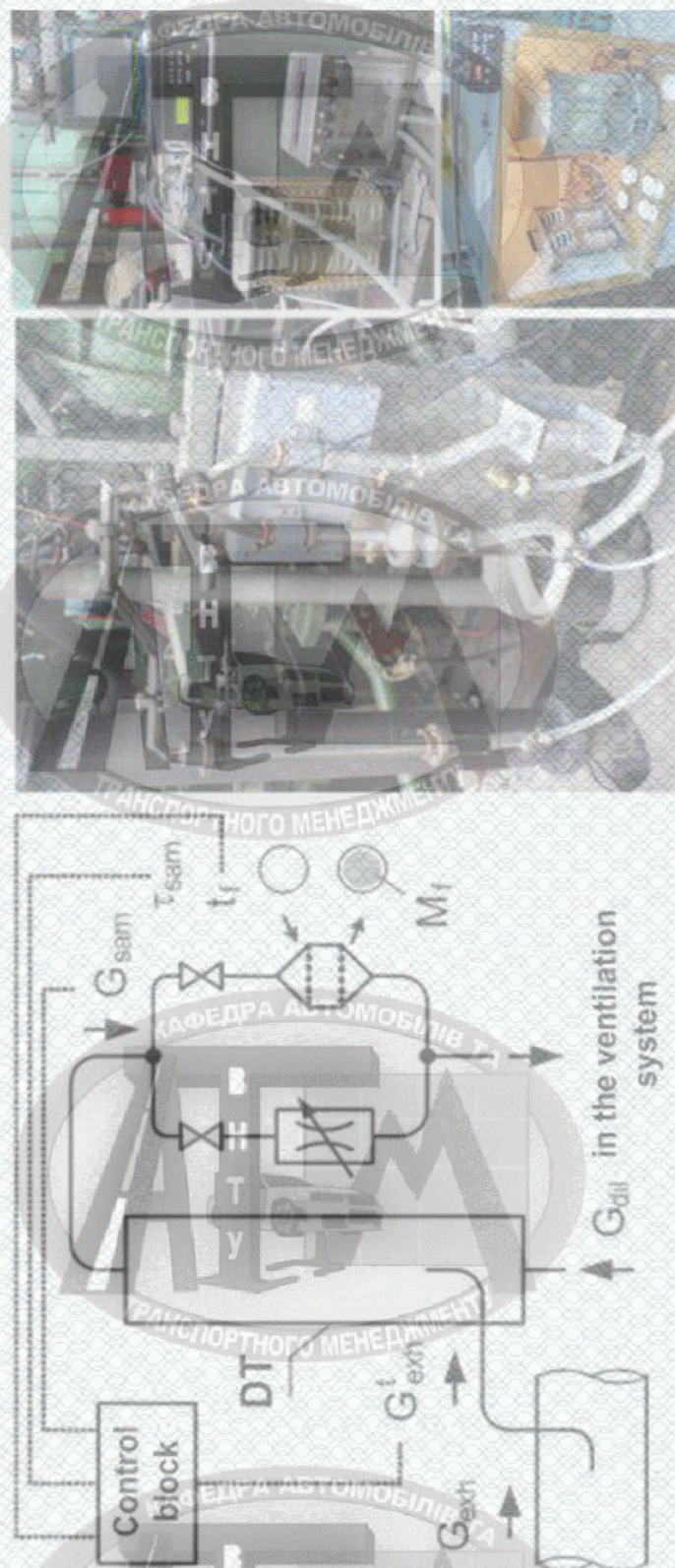


Рисунок 1.9 – Принципова схема і загальний вигляд мікротунелю MKT-2

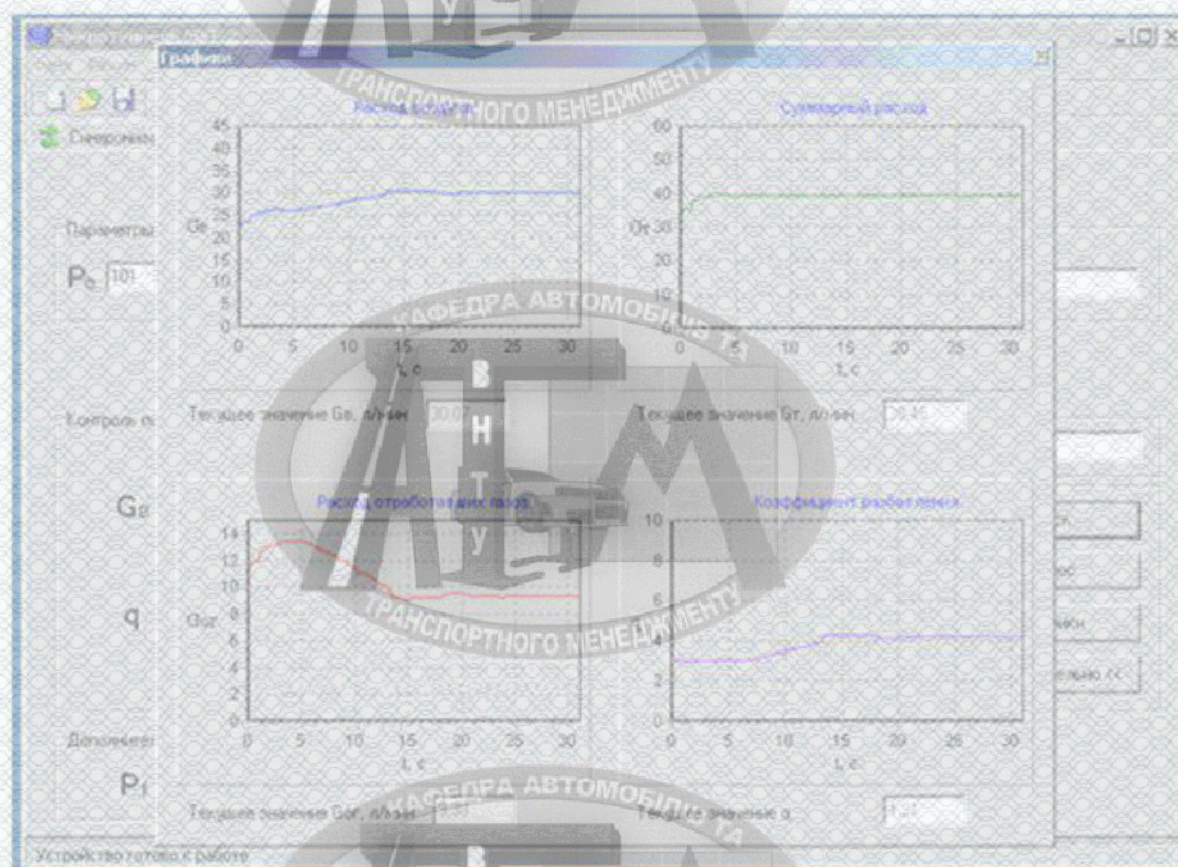
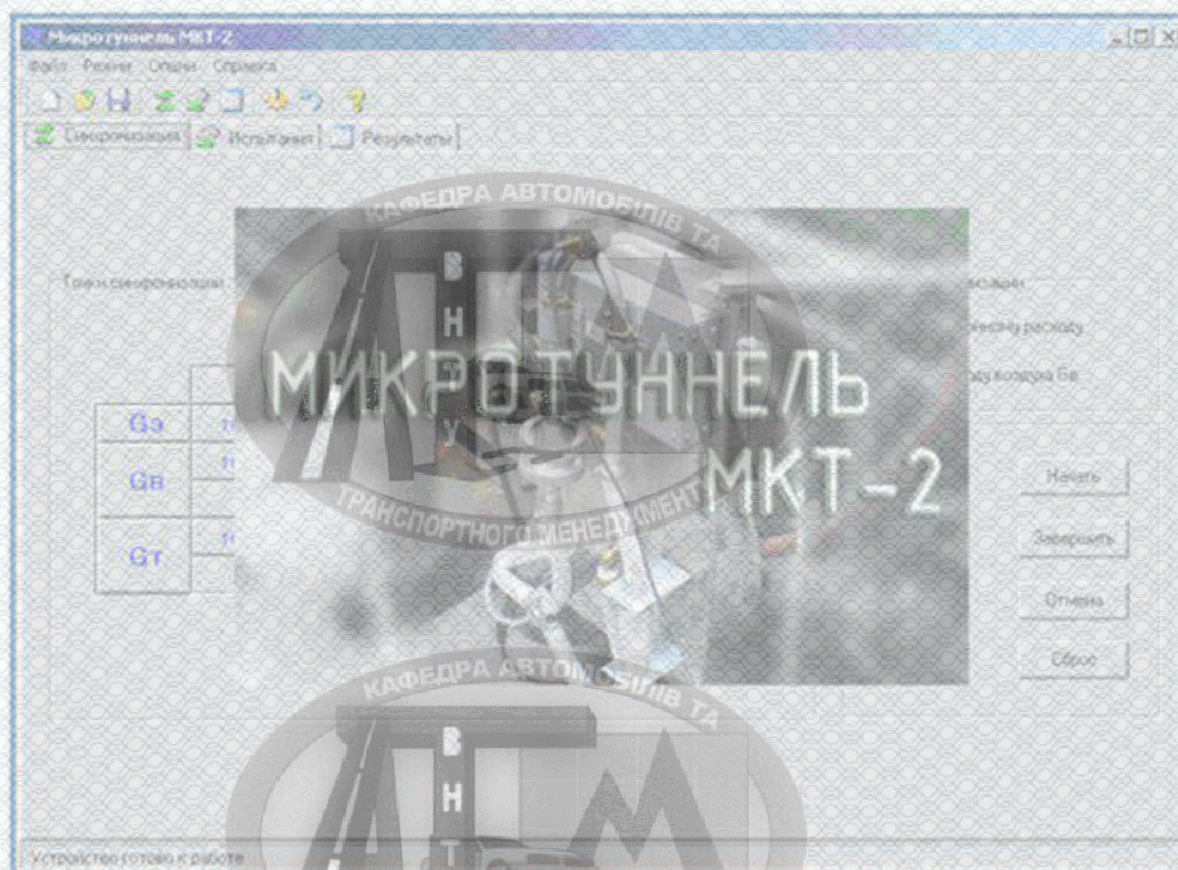


Рисунок 1.10 – Програмне забезпечення мікротунелю МКТ-2

– мікротунелі: МКТ-1 – неавтоматизована система та МКТ-2 – автоматизована система, які мають такі технічні характеристики: розміри тунелю – $3,0 \times 30$ см, відповідно; продуктивність загальної газодувки модулю розбавлення EG та лінії відбору проб РТ – 1,2 г/с; режими відбору EG – пропорційний, ізокінетичний, постійний; режим керування МКТ-2 – з використанням розробленого ПЗ від ПК [24, 25].

– мінітунель з ізокінетичним пробовідбірником МТ-1 (рис. 1.11), який має такі технічні характеристики: розміри тунелю – $8,5 \times 100$ см, відповідно; продуктивність газодувки: лінії відбору проб РТ – 1,2 г/с, модулю розбавлення EG – 25 г/с, режим відбору EG – ізокінетичний [24];

Випробувальні стенди для досліджень робочих процесів у тунелях:

– безмоторний стенд для досліджень компенсаційного та ізокінетичного режимів відбору проби EG з вихлопної системи ДВЗ (рис. 1.12); на цьому стенді експериментально підтверджено практичну придатність компенсаційного методу контролю проби EG та визначено умови використання ізокінетичного пробовідбірника МТ-1 [27, 28];

– стенд для досліджень теплових процесів у тунелях (рис. 1.13); на цьому стенді експериментально встановлено критеріальне рівняння процесу теплопередачі через стінки тунелів у безрозмірній формі [29];

Результати досліджень з експериментального відпрацювання сертифікаційних процедур екологічного діагностування дизелів різного призначення:

– 13-ступінчастого циклу та циклу ESC Правил ЄЕК ООН R-49 (на базі автомобільного дизеля 4СН12/14);

– 8-ступінчастого циклу Правил ЄЕК ООН R-96 (на базі тракторного дизеля Д-242);

– тепловозних циклів – міжнародного 3-ступінчастого ISO-8178F та вітчизняного 5-ступінчастого ГСТУ 32.01-94 (на базі двигуна дизель-поїзда ДЕЛ-1) (рис. 1.14) [31-33].

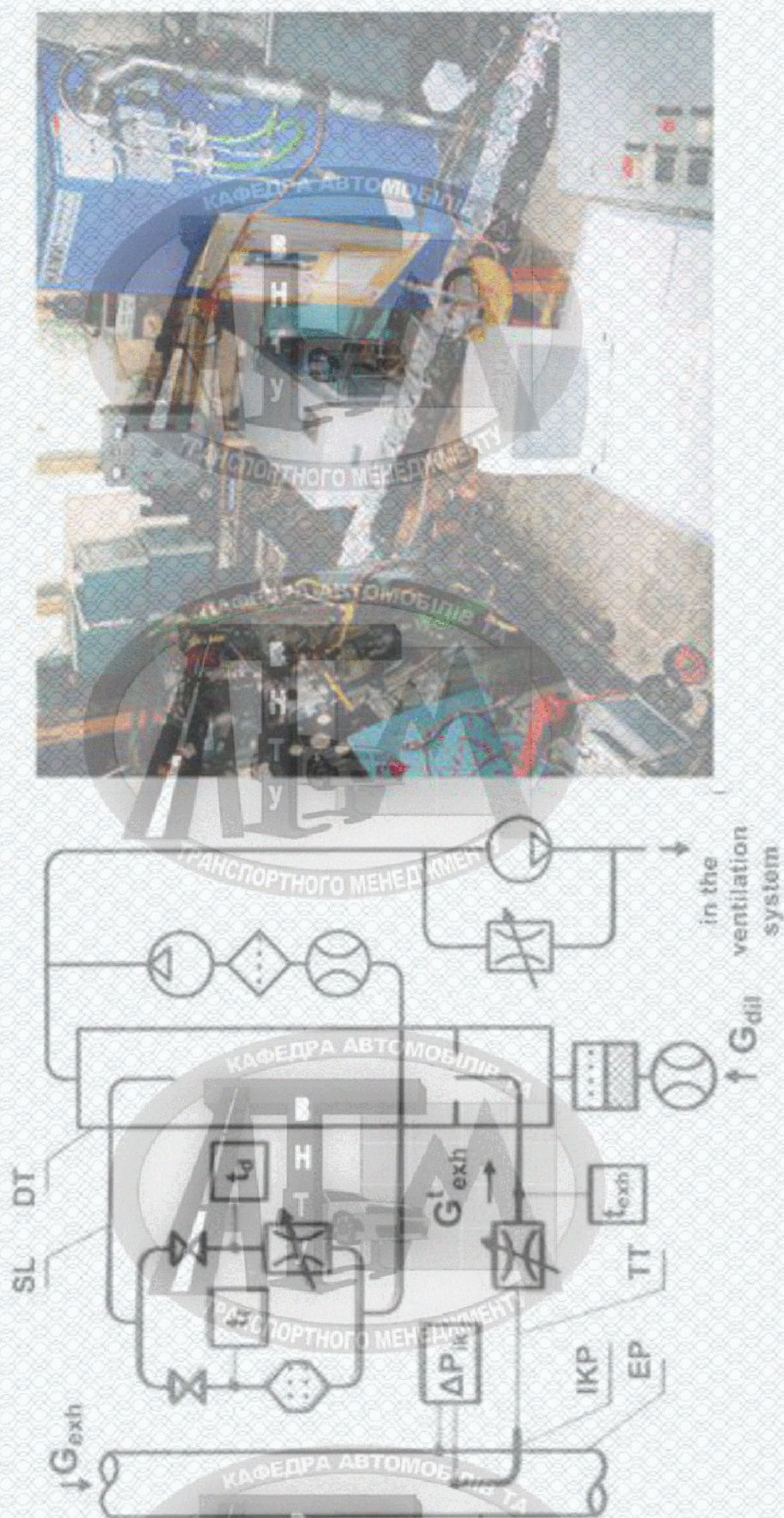


Рисунок 1.11 – Принципова схема та загальний вигляд мінітунелю МТ-1

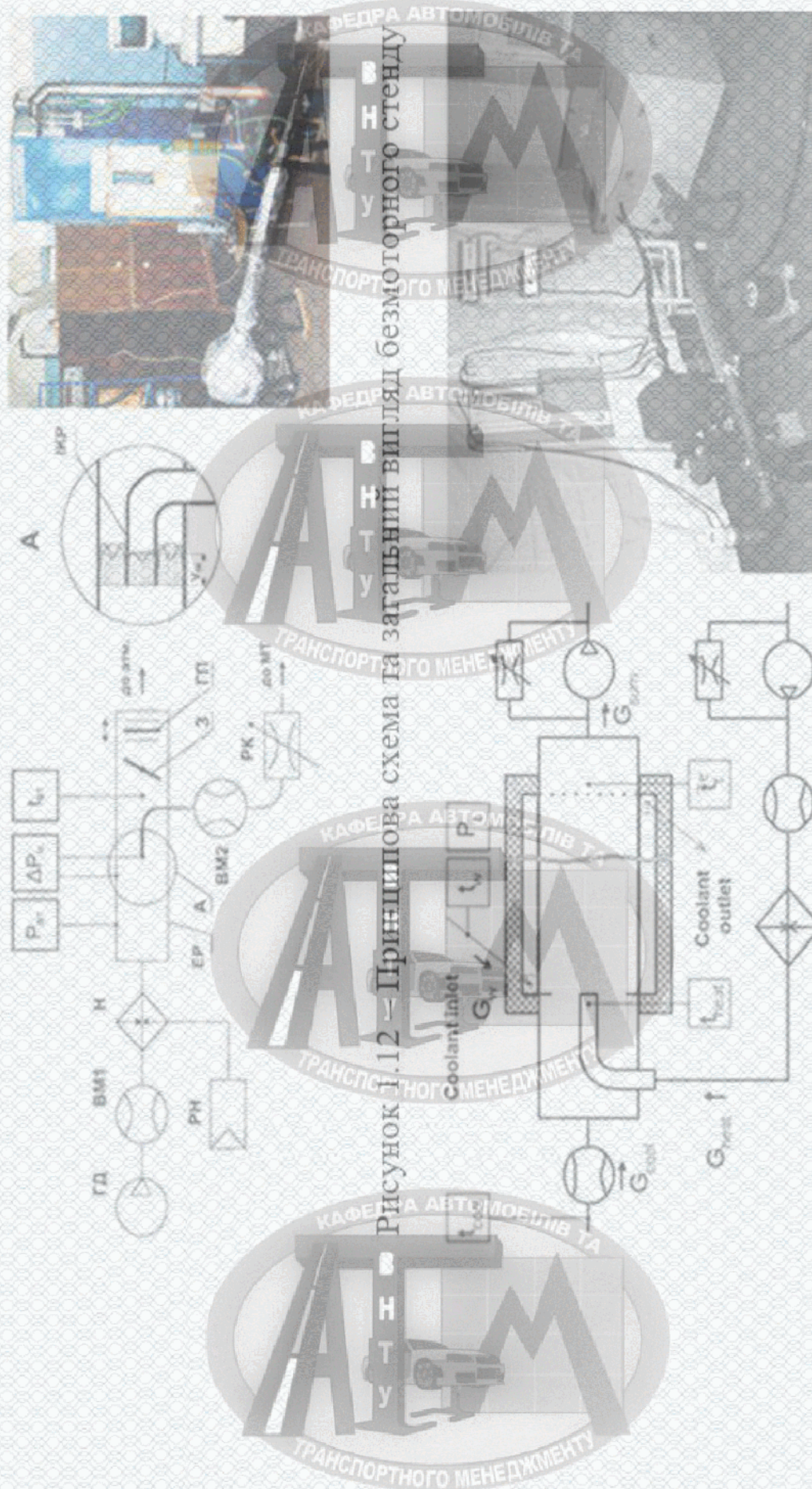


Рисунок 1.13 – Принципова схема та загальний вигляд стенду для експериментальних досліджень теплових процесів у МТ і МКТ

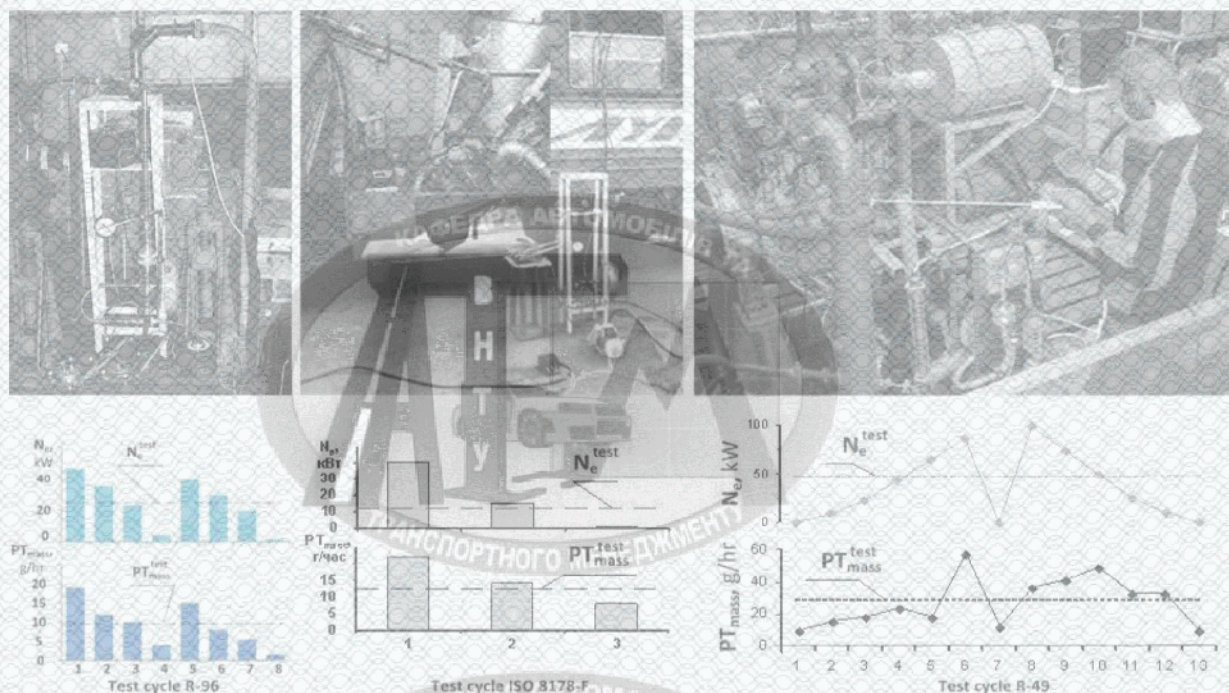


Рисунок 1.14 – Результати екологічних випробувань тракторного, тепловозного і автомобільного дизелів

На основі представлених результатів досліджень вітчизняних фахівців може бути створено універсальну вимірювальну систему для екологічного діагностування і сертифікації ДВЗ різного призначення за нормованими показниками токсичності EG.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОСТІ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДВЗ

2.1. Принцип дії та основні елементи універсального вимірювального комплексу з мікротунелем МКТ-2

Відповідно до запропонованої концепції створення універсальних систем екологічного діагностування ДВЗ, представленої в 1-му розділі, розроблено принципову схему такої системи. Основним елементом якої є макетний зразок автоматизованої компактної системи розбавлення ЕГ – мікротунеля МКТ-2.

Принципова схема універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ з МКТ-2 представлена на рис. 2.1.

Універсальна вимірювальна система з мікротунелем МКТ-2 призначена для визначення екологічних показників ДВЗ різних типів, що характеризують негативний хімічний та фізичний вплив цих об'єктів на довкілля, а саме:

- показники енергетичних забруднень: шуму, вібрацій, теплових забруднень;
- показників токсичності ЕГ : концентрацій, середньоексплуатаційних, масових і питомих викидів РЗ і парникових газів – моно- і діоксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту, діоксиду сірки, РТ та ін.

До основних елементів вимірювального комплексу відносяться:

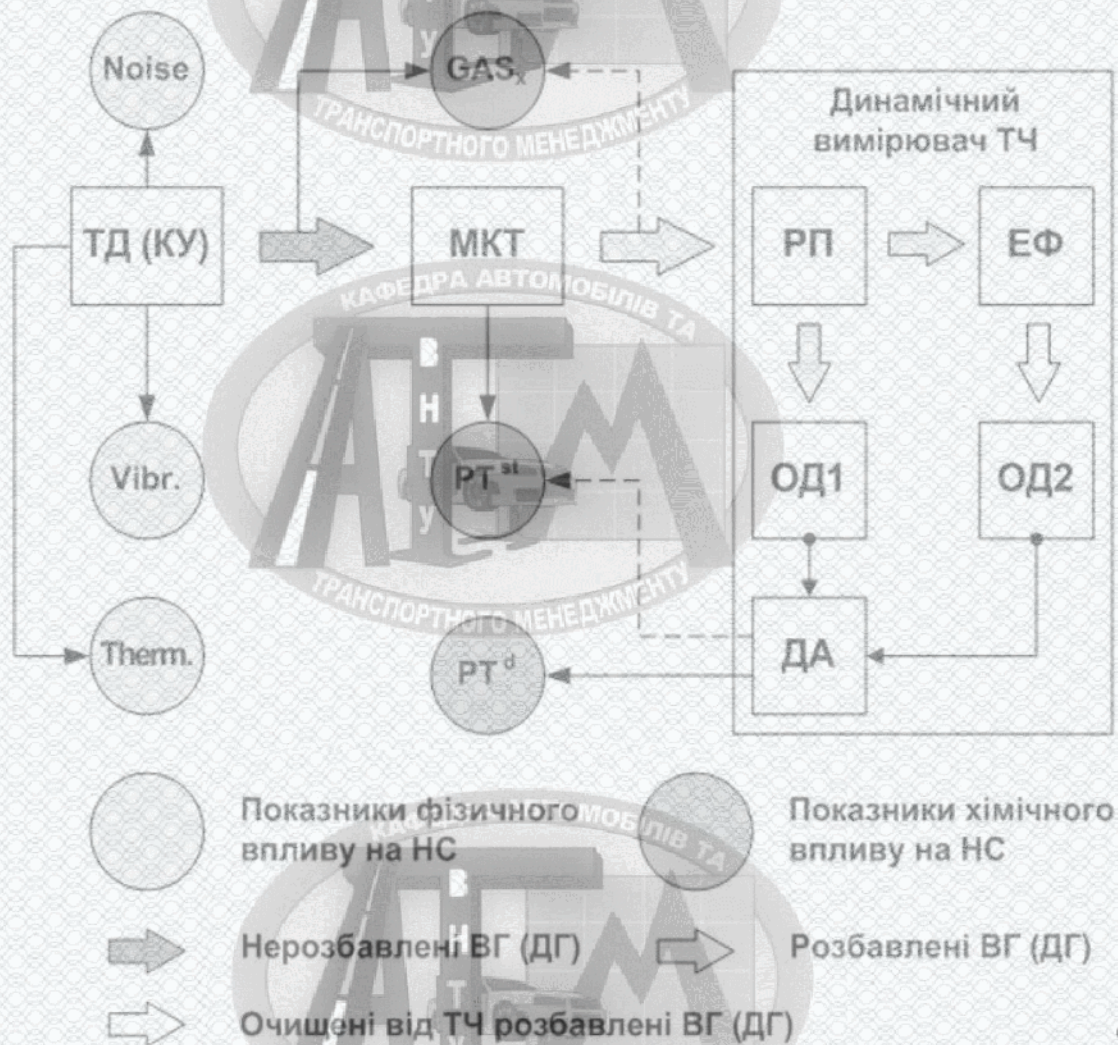
- мікротунель;
- прилади та засоби контролю екологічних показників ДВЗ;
- динамічний вимірювач РТ.

Принцип дії та алгоритм роботи МКТ-2.

Мікротунель МКТ-2 [21] – компактна частковопоточна система розбавлення ЕГ повітрям, спроектована у відповідності до нормативних вимог [12-15]. Принцип дії МКТ-2 полягає у наступному (рис. 2.2).

Масова витрата G , створюється штатною газодувкою ГД1 та підтримується постійною на заданому рівні у відповідності до обраного

режиму розбавлення EG. При цьому температура проби перед фільтром t_f не перевищує 52 °С. Величина G_f вимірюється витратоміром V_1 – колектором з внутрішнім діаметром 8 мм; для визначення масової витрати потоку компенсованого повітря G_{com} , яка дорівнює величині G_{exh} , використовується витратомір V_2 – нормальне сопло.



Noise, Vibr., Therm. – показники шуму, вібрацій, тепловиділення; GAS_x , PT^{sl} , PT^d – показники токсичності EG; МКТ – мікротунель; ДВЗ – тепловий двигун; РП – розподільник потоків проби; ЕФ – електрофільтр; ОД1, ОД2 – детектори оптичної щільності; ДА – диференціальний аналізатор оптичної щільності.

Рисунок 2.1 – Принципова схема універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ з МКТ-2

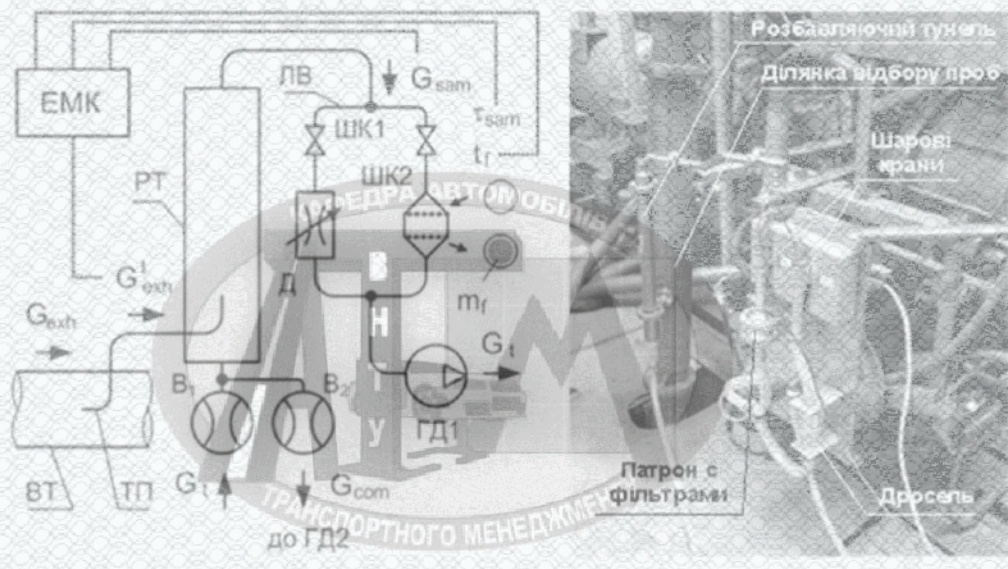


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд та принципова схема мікротунелю MKT-2

Частина EG з масовою витратою G'_{exh} відбирається з вихлопної труби двигуна – ВТ і через трубопровід транспортування проби – ТП подається в розбавляючий тунель – РТ, де відбувається її змішування з атмосферним повітрям. З тунелю потік розбавлених EG з масовою витратою G_t через один з шарових кранів надходить або в байпасну магістраль, або в робочий канал, в якому встановлений патрон із двома фільтрами для відбору РТ.

Шарові крани K1 і K2, які визначають напрямок руху потоку проби у лінії відбору проб, завжди перебувають у протилежних станах: один відкритий – інший закритий та навпаки. За допомогою дроселя Д забезпечується регулювання тиску в даній магістралі таким чином, щоб у момент перемикання кранів не виникало гідравлічного удару. При підготовці проби до аналізу відкритий кран K1 і розбавлені EG протікають через байпасну магістраль. При виконанні процедури відбору проб РТ відкритий кран K2 і весь потік розбавлених EG протікає через фільтр. При цьому фіксується тривалість процедури – τ_{sam} . Коефіцієнт розбавлення EG – q :

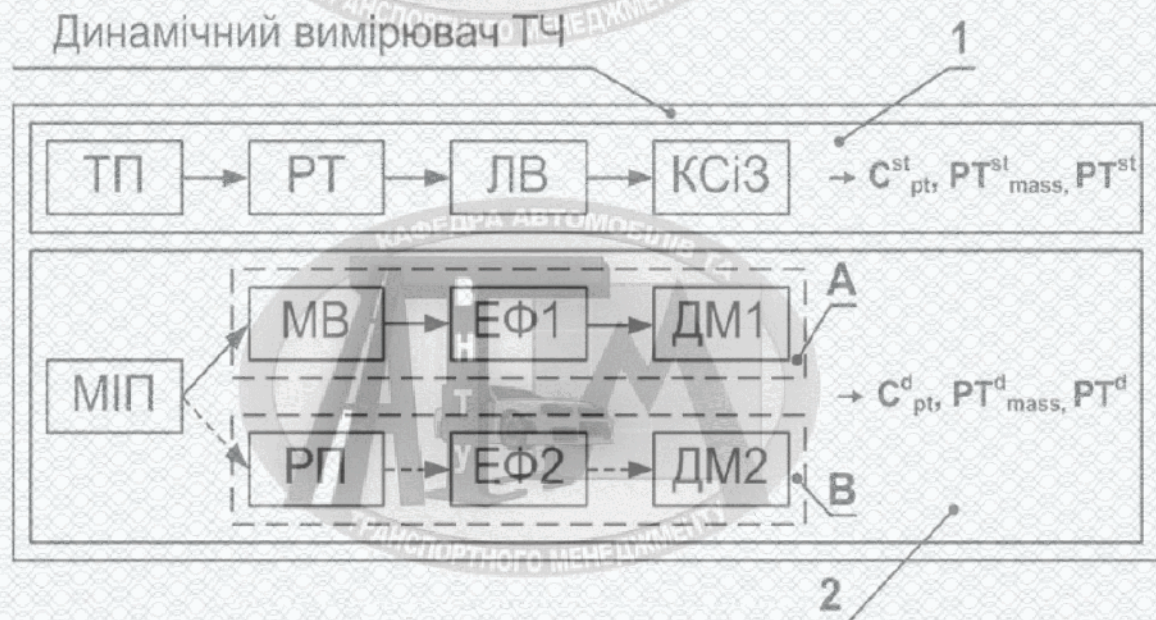
$$q = \frac{G_t}{G_{com}}$$

У ході виконання випробувань усі зазначені величини протоколюються та використовуються при визначенні масових (г/год), питомих (г/кВт·год) викидів РТ на окремих режимах роботи дизеля та середньоексплуатаційного викиду РТ за цикл (г/кВт·год).

Після завершення випробувань вимірюється маса РТ – m_f , як приріст маси робочого фільтру за час випробувань. Для контролю параметрів G_L , G_{com} , τ_{sam} , t_f і керування шаровими кранами К1 і К2 використовується мікропроцесорний блок.

Принцип дії та основні елементи динамічного вимірювача РТ з оптико-електронним чутливим елементом.

Динамічний вимірювач РТ призначений для визначення миттєвих значень кількісних характеристик вмісту РТ у ЕГ: концентрацій (г/мн³), масових (г/год) та питомих (г/кВт·год) викидів РТ; до складу динамічного вимірювача РТ якого входять дві установки (рис. 2.3):



А – робочий канал; В – контрольний канал.

1 – мікротунель МКТ-2; 2 – динамічний детектор РТ;

Рисунок 2.3 – Принципова схема динамічного вимірювача РТ:

1) частково потокова система розбавлення EG – мікротунель *МКТ-2*, яка виконує функції підготовки проби розбавлених EG до вимірювань та калібрування динамічного детектору РТ; в ході калібрування визначаються еталонні значення концентрацій, масових та питомих викидів РТ на сталих та перехідних (несталих) режимах випробувань;

2) система контролю миттєвих значень концентрацій, масових та питомих викидів РТ на різних режимах роботи дизеля – *динамічний детектор РТ*, ця система може використовуватись з одним робочим вимірювальним каналом або з двома – робочим і контрольним каналами вимірювань.

2.2 Обладнання та прилади контролю хімічних і фізичних забруднень довкілля двигунами

Вибір приладів і обладнання для універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ з мікротунелем здійснювався на основі наступних критеріїв оцінки їх ефективності: забезпечення потрібної точності і динамічності вимірювань; значний термін експлуатації; мобільності, компактності та зручності у експлуатації; доступна ціна, за можливістю – вітчизняне виробництво; доступність регламентного обслуговування; широка галузь застосування. В результаті врахування цих критеріїв було обрано ефективні засоби контролю хімічного та фізичного впливу ДВЗ на довкілля, які розподілені на 2 групи (табл. 2.1): 1) прилади і обладнання для лабораторного аналізу газових проб на базі навчально-наукової лабораторії екологічного моніторингу; 2) прилади і обладнання для стендових і натурних випробувань. Основними приладами 1-ої групи є недорогі, зручні у експлуатації, здатні визначати значну кількість забруднювачів довкілля засоби фотометричного контролю газових, рідких та твердих проб – спектрофотометри і фотоколориметри. До найбільш затребуваних приладів 2-ї групи відносяться портативні багатоканальні газоаналізатори, здатні одночасно визначати концентрації РЗ, які характеризують процес згоряння

палива – CO, O₂, CO₂ і NO_x, а також засоби контролю факторів фізичного впливу ДВЗ на довкілля: шуму, вібрацій, тощо.

Таблиця 2.1 – Прилади і обладнання для універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ

№	Назва приладу	Ціна, грн. (01.10.24р)	Придбані
ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СТЕНДОВИХ І НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ			
1	Метеостанція портативна Sunroad FR500 (7 в 1) http://www.testo.kiev.ua/ru/testo-350-komplekt.html	945	+
2	Газоаналізатор «ОКСИ-5М-5Н» http://www.ecotest.kharkov.ua/oksi_5m.html	36 498	+
3	Шумомір-реєстратор 2-го класу DT-8852 http://www.dilis.com.ua/product_28.html	4 060	+
4	Термометр цифровий Walcom TP-101 https://simvolt.com.ua/p1459802-walcom-101-termometr.html	500	+
5	Автоматичний цифровий вимірювач сажі Testo 308 http://www.testo.kiev.ua/ru/testo-308.html	12 940	-
6	Димомір «МЕТА-01 МП 0,2Т» http://spets-signal.uaprom.net/p2133655-dymomer-meta-02t.html	21 750	-
7	Електроаспіратор ASA-2М https://chemtest.com.ua/aspiratori	38 100	+
ПРИЛАДИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО АНАЛІЗУ ПРОБ			
8	Фотоколориметр КФК-2 http://proflab.com.ua/produkt/product-details/101-fotokolorimetr-kfk-2.html	7 900	+
9	Спектрофотометр ULAB 102 http://www.ulab.com.ua/catalog/detail.php?SECTION_ID=14&IBLOCK_ID=28&ELEMENT_ID=161	40 950	+
10	Аналітичні ваги Radwag AS 60/220.R2; http://chemtest.com.ua/vesi_laboratornie_radwag_as_60_220	47 778	+

Прилади та обладнання для вимірювального комплексу з мікротунелем для стендових і натурних випробувань. До сучасних газоаналітичних приладів відносяться:

- портативні газоаналізатори-монітори (рис. 2.4) компаній Testo (Німеччина), Riken Keiki (Японія), Екотест (Україна) тв ін.; до їх складу входять газоаналізатори різних моделей, що забезпечують визначення концентрації газів CO, H₂S, NO, NO₂, SO₂ у ppm (частинках на мільйон); у них автономне живлення; цифровий індикатор на рідинних кристалах безперервно видає дані; керування індикацією - від мікропроцесора; аналізатори також видають й усереднені звіти; насос для відбору проб вмонтовано у прилад; час спрацьовування - у межах до 10...30 с; вага - від 0,3 до 3 кг;



Рисунок 2.4 - Портативний промисловий газоаналізатор Testo 350

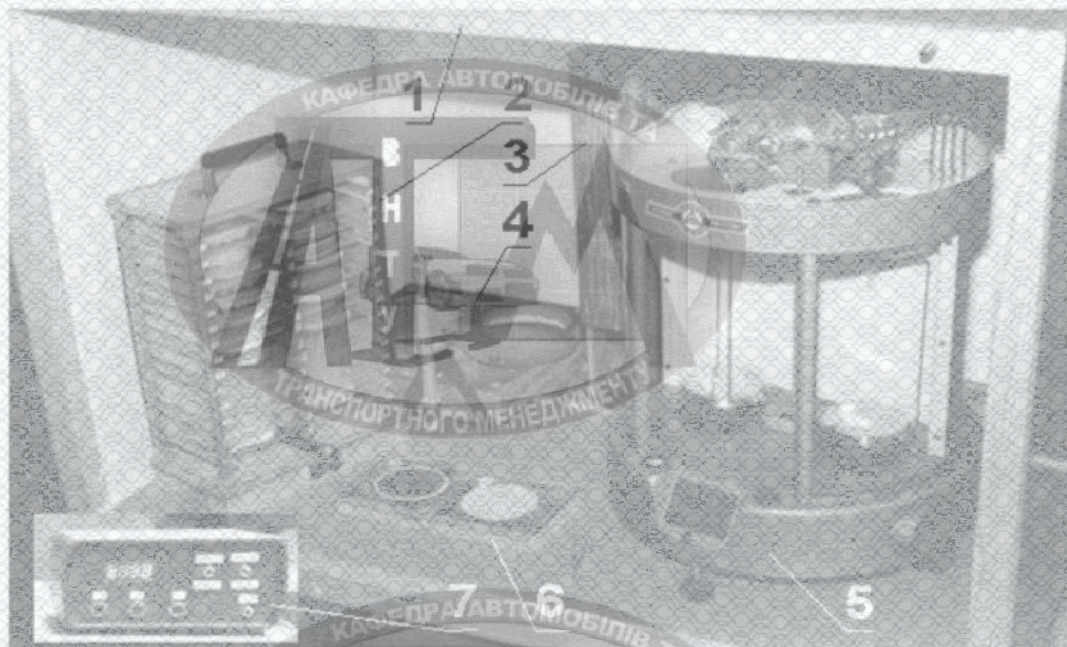
- *пост екологічного контролю вітчизняної фірми «Украналіт»;* призначений для вимірювань NO , NO_2 , NO_x , CO , CO_2 , CH_4 у викидах автотранспорту та ДВЗ інших призначень; вбудовані: блок пробопідготовки; інфрачервоні газоаналізatori CO , CO_2 ; генератор водню та воднево-гелієвий розріджувач; хемілюмінесцентний газоаналізатор CH ; полум'яно-іонізаційний газоаналізатор NO , NO_2 , NO_x ; димомір; самописи до аналізаторів; комплект повірочних газових сумішей; мікропроцесорні пристрої у комплектах кожного газоаналізатора; час безперервної роботи 48 годин, маси аналізаторів - 25 - 35 кг;

- *стійки з приладами для газового аналізу фірми AVL (Австрія);* вимірюють CO , CO_2 , NO , NO_2 , CH , O_2 ; призначені для контролю токсичності та діагностики як бензинових двигунів, так і дизелів всіх розмірів і потужностей; різні можливості визначення частоти обертання колінчастого вала двигуна (клемовий датчик, датчик ВМТ, оптичний датчик, кабель запалювання та ін.); принципи вимірювання та виконання приладів відповідають законодавчим вимогам; надійні вимірювання при низьких температурах навколишнього середовища. можливий комплексний аналіз несправностей двигуна: кути випередження запалювання й вприскування палива, димність і частота обертання при розгоні на холостому ході, перевірка роботи λ -зонда і т. д.); можливість визначення димності при повному навантаженні забезпечена вимірювальною камерою стандартної довжини з малою масою; вбудовані дисплей та принтер, накопичувач даних; вага модуля газоаналізатора 22 кг;

- *хемілюмінесцентний аналізатор японської фірми «Рікен Кейкі»;* призначений для вимірювань NO , NO_x ; спосіб вимірювання мало залежить від зовнішніх впливів; конструктивно прилад виконано із вузла відбирання проби з включенням охолоджувача, вузла каталізатора, вузла детектора із контролем температури та електричних кіл на напівпровідниках; вимірювання виконується при атмосферному тиску (тому не потрібний вакуумний насос); вмонтований механізм повної обробки надлишку озону; зручний для контролю ЕГ у майстерні обслуговування автомобіля; маса - до 120 кг.

Прилади та обладнання для лабораторного аналізу показників токсичності ДВЗ.

Камера для зважування фільтрів (рис. 2.5) забезпечує потрібні умови для визначення маси РТ, які відповідають нормативним вимогам [21-23]. Для доступу персоналу до аналітичних ваг та фільтрів у процесі їх зважування у кришці камери герметично закріплені гумові рукавички. Камера може використовуватись у герметичному режимі; для цього вона має теплоізований корпус, закритий прозорою кришкою з оргскла.



1 - корпус; 2 – касета з фільтрами; 3 – газохід з вентилятором та нагрівачем; 4 - регулятор поглинання-виділення вологи; 5 – аналітичні ваги; 6 – підставка для розташування фільтрів; 7 – електронний модуль керування.

Рисунок 2.5 – Основні елементи камери для зважування фільтрів

Всередині камери для зважування фільтрів знаходяться:

- система регулювання температури з нагрівачем потужністю 150 Вт, яка забезпечує підтримку всередині камери температури стабілізації фільтрів– t_{st} на заданому рівні – у діапазоні 18...40 °С, точність – ± 1 °С;

- система кондиціонування з вентилятором, що забезпечує рівномірне перемішування в камері повітря та відсутність градієнту температур;
- система регулювання відносної вологості повітря з регулятором поглинання-виділення вологи, яка забезпечує підтримку в камері відносної вологості— φ_{st} на заданому рівні – у діапазоні 40...90% з точністю $\pm 3\%$.

Камера має габарити: L, B, H - 800×600×600 мм, відповідно; маса камери з аналітичними вагами – не більше 40 кг. Тривалість безперервного періоду стабілізації фільтрів складає 2-36 годин. Для зручності транспортування на верхній стінці камери встановлені два тримачі. Для управління і контролю температурним режимом камери використовується електронний модуль – мікропроцесорний модуль



РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ЗРАЗОК УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТД З МІКРОТУНЕЛЕМ

3.1 Систематизація методів та методик визначення показників хімічного та фізичного впливу ДВЗ на довкілля

До найбільш значимих властивостей створеної вимірювальної системи, та таких, що надають їй переваги над відомими аналогами, зокрема – системами екологічного діагностування ДВЗ – мікротунелями AVL SPC 472 [37], Pirburg PS 2000 [38], мінітунелями Perkins [39] AVL MT 474 [40], багато трубного типу [41] та ін. відносяться:

- *багатофункціональність* – можливість одночасного визначення екологічних показників, які характеризують хімічні та фізичні забруднення навколишнього середовища, зокрема масові і питомі викиди у атмосферу забруднюючих речовин і парникових газів з ЕГ двигунів, акустичні і теплові забруднення;
- *універсальність* – можливість використання на моторних і безмоторних стендах випробувальних стендах, натурних об'єктах – ДВЗ, різних за типом, призначенням, габаритами;
- *забезпечення можливості початкової демонстрації принципу дії обладнання* при використанні у навчальному процесі;
- *компактність, мобільність та зручність у експлуатації*;
- *забезпечення регламентованої точності вимірювань при меншій ніж у аналогів вартості обладнання*;
- *інноваційність впроваджених технологічних та технічних рішень*;
- *здатність до удосконалення* – підвищення ефективності та розширення виконуваних функцій;
- *забезпечення можливості тривалої автономної роботи без використання електричних мереж*;
- *висока інформативність результатів досліджень*.

До нормованих методів та методик, які використовуються при проведенні екологічного діагностування ДВЗ за показниками, що характеризують хімічні та фізичні забруднення навколишнього середовища, відносяться: методика визначення масових викидів забруднюючих речовин, що містяться у ЕГ ДВЗ; методи відбору, транспортування та підготовки до аналізу газових проб; що відбираються з димових труб КУ; методика вимірювань транспортних, промислових та побутових шумів з використанням шумоміру; методика проведення лабораторного аналізу газових проб з використанням спектрофотометру.

3.2. Метод компенсації проби ЕГ в мікротунелі, його переваги над диференційним методом

Одним з найбільш вартісних пристроїв сучасних мікротунелів є вимірювач масової витрати ЕГ, які надходять до системи динамічного розбавлення проби (тунелю) – параметра G_{exh}^t . Особливість цього пристрою полягає в тому, що величина G_{exh}^t вимірюється непрямым шляхом оскільки пряме вимірювання не може бути виконано через високі температури, забрудненість та хімічну агресивність потоку ЕГ.

Сьогодні у поширених компактних системах розбавлення ЕГ, зокрема мікротунелі AVL SPC 472H [4, 40] для визначення величини G_{exh}^t використовується диференційний метод вимірювань, особливість якого полягає в застосуванні вартісних високоточних газових витратомірів. У цьому зв'язку запропоновано альтернативний компенсаційний метод вимірювання показника G_{exh}^t , який забезпечує потрібну точність вимірювань при використанні менш вартісного обладнання.

Нижче наведено результати досліджень ефективності запропонованого методу, які проводились у такій послідовності: вивчення умов визначення масової витрати ЕГ, які надходять до тунелю; аналіз диференціального і

компенсаційного методів вимірювань G_{exh}^t ; розробка методики визначення допустимих похибок витратомірів методів, що розглядаються; порівняння різних методів визначення величини G_{exh}^t за критерієм забезпечуваної точності вимірювань і аналіз отриманих результатів.

Аналіз диференціального і компенсаційного методів вимірювань (рис. 3.1). При диференційному методі величина G_{exh}^t визначається, як різниця масових витрат двох потоків: розбавлених EG і повітря, які вимірюються витратомірами P2 і P1. При цьому мала величина G_{exh}^t (2 ... 20% від сумарного потоку G_t) обчислюється, як різниця 2-х великих величин - G_t (100%) і G_{dil} (75 ... 97%), для визначення яких потрібні прилади з підвищеною точністю. При компенсаційному методі величина G_{exh}^t дорівнює масовій витраті компенсованого повітря G_k при умові підтримки масової витрати повітря G_{dil} на постійному рівні і забезпечується відповідними пристроями. Цей метод не передбачає використання вартісних витратомірів.



Рисунок 3.1 – Принципові схеми методів, що розглядаються

Методика оцінки похибок витратомірів компенсаційного і диференціального методів вимірювань. Методика дозволяє оцінити допустимі похибки витратомірів вказаних методів за умови забезпечення нормованих вимог щодо точності визначення коефіцієнта q . При цьому використовується припущення про те, що в кожному методі застосовуються витратоміри одного класу точності, тобто:

$$\delta P_d = \delta P_1, \delta P_2; \delta P_k = \delta P_3, \delta P_4,$$

де δP_d – похибка витратоміра диференціального методу;

$\delta P_1 \dots \delta P_4$ - похибки витратомірів $P_1 \dots P_4$;

δP_k – похибка витратоміра компенсаційного методу.

В методиці використовується формула розрахунку відносної похибки вимірювань величини, що визначається непрямым шляхом [65]:

$$\delta y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\sqrt{((\partial y / \partial x_1) \cdot \Delta x_1)^2 + ((\partial y / \partial x_2) \cdot \Delta x_2)^2 + ((\partial y / \partial x_n) \cdot \Delta x_n)^2}}{y}, \quad (3.1)$$

де y – величина, яка залежить від величин $x_1, x_2, \dots, x_n$ і визначається непрямым шляхом за допомогою відомого виразу – $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$;

δy і Δy – відносна і абсолютна похибки вимірювання величини y ;

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ – абсолютні похибки вимірювань величин $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Застосовуючи формулу (3.1) отримаємо систему рівнянь, в результаті вирішення якої визначається похибка δP_d :

$$\delta q^2 = (\delta G_{pz})^2 - (\delta G_{pz}^m)^2 = (\delta G_{pz} \cdot q)^2 + (\delta G_s (q-1))^2 \quad (3.2)$$

Рішенням цієї системи рівнянь з урахуванням зробленого припущення є:

$$\delta P_d = \frac{\delta q}{\sqrt{1 + q^2 + (q-1)^2}} \quad (3.3)$$

$$\delta P_k = \frac{\delta q}{\sqrt{1 + \left(\frac{q-1}{q}\right)^2 + \left(\frac{1}{q}\right)^2}} \quad (3.4)$$

Формули (3.3) і (3.4) дозволяють оцінити точність витратомірів, що застосовуються при використанні диференціального і компенсаційного методів вимірювання величини G_{exh}^t .

Результати порівняння досліджуваних методів вимірювань свідчать про наступне (рис. 3.2):

Оцінка точності витратомірів δP_d і δP_k

Оцінка точності компенсаційного методу

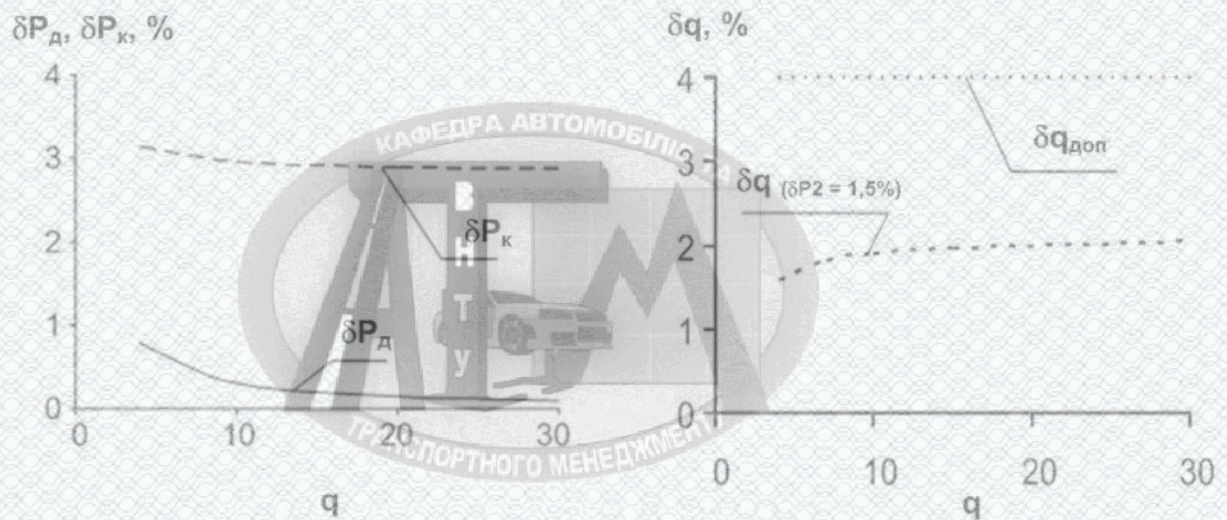


Рисунок 3.2 – Результати оцінки ефективності компенсаційного методу вимірювань масової витрати проби EG, що потрапляє в тунель

а) необхідна точність вимірювань коефіцієнта q забезпечується витратомірами, допустимі похибки яких складають: при реалізації методу Д – не менше ніж $\pm 0,1\%$; при реалізації методу К – не менше ніж $\pm 2,9\%$;

б) використання в якості витратомірів методу К стандартних звужуючих пристроїв – нормальних сопел з похибками $\delta P_k = \pm 1,5\%$ [66] дозволяє вимірювати коефіцієнт q з похибками біль ніж у 2 рази меншими від допустимої величини $\delta q_{\text{доп}}$.

3.3. Експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ

З метою розширення можливостей базового вимірювального обладнання – мікротунелю МКТ-2 [57, 58] на його основі створено експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ, відмінними властивостями якої є: багатофункціональність, компактність, мобільність, зручність у експлуатації,

висока ступінь автоматизації, інформативність результатів, здатність до вирішення як науково-дослідних, так і навчальних завдань.

Основні елементи створеної вимірювальної системи. Універсальна система екологічного діагностування ДВЗ складається з 3-х основних модулів: вимірювального, тестувально-демонстраційного та лабораторного.

До складу *вимірювального модулю* системи входять:

- прилади і обладнання для безпосереднього вимірювання екологічних показників, що характеризують фізичні та хімічні забруднення навколишнього середовища (рис. 3.3), зокрема: портативний газоаналізатор OKSI 5M, електроаспіратор ASA-2M, тепловізор Testo 871, шумомір-реєстратор DT-8852, пневмометричні трубки конструкції НІИОГАЗ різної довжини, мікроманометр ММН 2400.

- система динамічного розбавлення газових проб EG повітрям – мікротунель МКТ-2 (рис. 3.4);

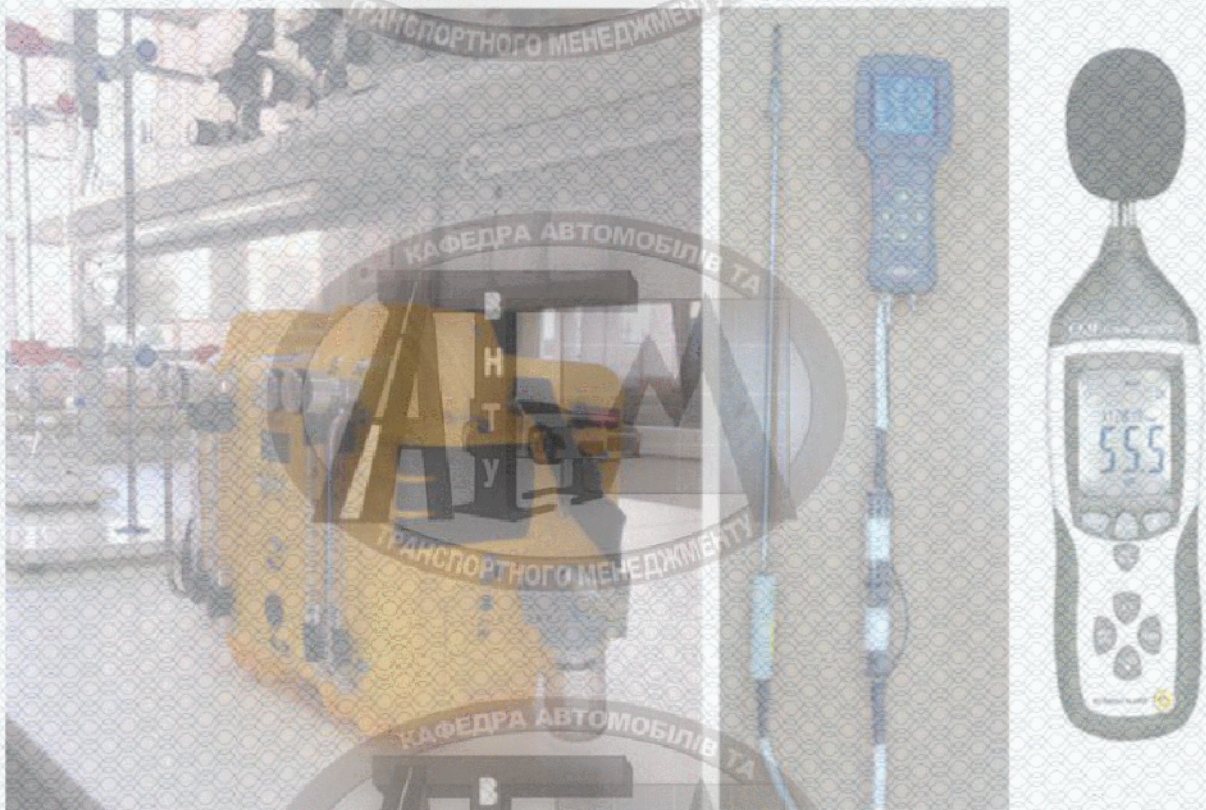


Рисунок 3.3 – Прилади контролю матеріальних і фізичних забруднень



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд вимірювальної системи МКТ-2

До складу *тестувально-демонстраційного модулю* відносяться:

– аеродинамічна установка для досліджень процесів, що протікають у вихлопних трубах ДВЗ, процесів підготовки до аналізу та газових відбору проб (рис. 3.5, 3.6);



Рисунок 3.5 – Установка для досліджень аеродинамічних процесів

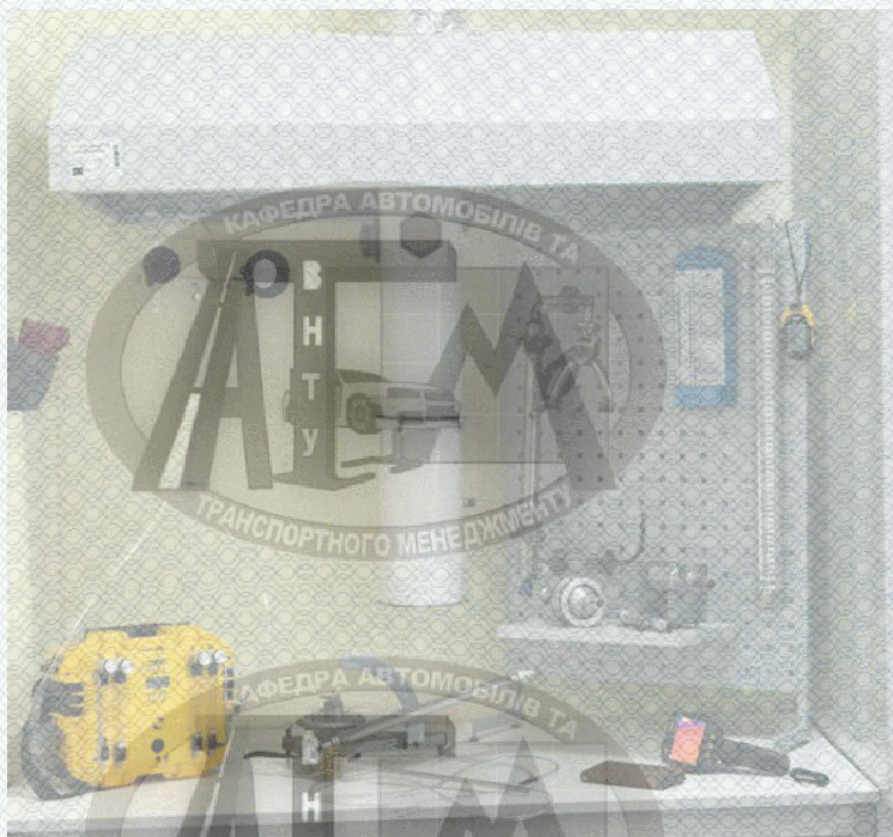


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд лабораторної стійки-трансформеру

– лабораторна стійка-трансформер, для монтажу різних за призначенням вимірювальних та випробувальних стендів у відповідності до наявних завдань;

До складу лабораторного модулю системи (рис. 3.7) входять обладнання, лабораторні прилади, витратні матеріали, що використовуються при проведенні аналізу відібраних в ході екологічних досліджень натурних об'єктів проб; основні прилади: ULAB 102 – спектрофотометр, Radwag AS 60/220 R2 – електронні ваги, ШВЛ-02 – витяжна шафа, тощо.

3.4 Результати експериментального відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування ДВЗ на натурних об'єктах

Для експериментального відпрацювання створеної системи діагностування проведено комплекс досліджень на натурних об'єктах з визначення хімічних та фізичних забруднень довкілля ДВЗ.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд приладів лабораторного модулю

Комплексні дослідження екологічних показників ДВЗ в ході натурних та стендових випробувань проведено на базі автотракторного дизеля 4ЧН 12/14.

Визначено концентрації і масові викиди газоподібних речовин та РТ на різних режимах його роботи (рис. 3.8–3.10, табл. 3.1–3.2).

Використано обладнання:

- для контролю концентрацій і масових викидів РТ – мікротунель;
- для контролю концентрацій і масових викидів газоподібних PS – CO, NO, NO₂ та NO_x – газоаналізатор ОКСИ-5М.

Дослідження проведені при різних значеннях числа обертів колінчастого валу – n та навантаження на вал двигуна – L , що визначалось за значенням крутного моменту – M_k , вказані параметри варіювались у експлуатаційних діапазонах: $n = 800 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$, $L = 0 \dots 100 \%$.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд випробувального стенду дизеля 4ЧН 12/14

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань масових викидів
газоподібних PS з EG автотракторного дизеля 4ЧН12/14

Режим	n, мин ⁻¹	L, %	m _{CO} , г/кВт·ч	m _{NO} , г/кВт·ч	m _{NOx} , г/кВт·ч	m _{NO2} , г/кВт·ч
1	1500	100	2,86	16,57	27,96	2,61
2	1500	89,61	2,54	16,93	28,44	2,53
3	1500	75,32	3,13	17,07	29,75	3,63
4	1500	50,65	2,08	16,3	28,55	3,62
5	1500	25,84	4,65	13,3	23,71	3,37
6	1500	12,99	9,12	13,28	24,64	4,32
7	2000	100	3,33	12,6	21,51	2,24
8	2000	89,71	2,95	12,56	21,36	2,14
9	2000	73,53	2,75	11,21	19,12	1,98
10	2000	50	3,51	9,96	17,16	1,93
11	2000	25	6,06	10,09	18,24	2,8
12	2000	10,29	14,97	14,9	28,42	5,63
13	2000	1	103,3	58,26	120,11	30,98
14	1800	1	85,93	50,92	105,37	27,47
15	1600	1	82,2	51,07	105,03	26,9
16	1400	1	105,97	55,51	115,05	30,13
17	1200	1	149,21	51,07	110,96	32,83
18	1000	1	191,64	47,88	110,44	37,19

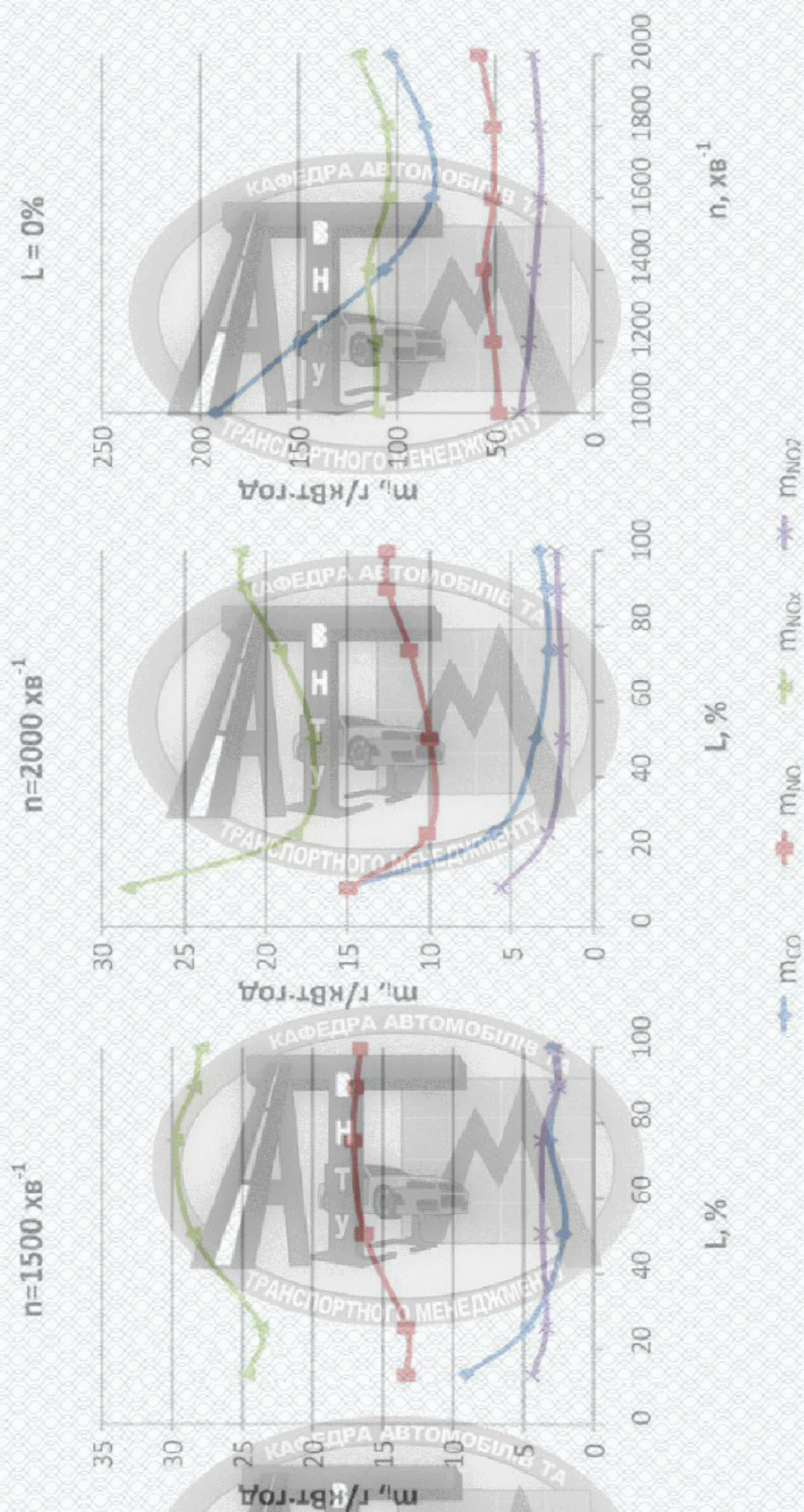


Рисунок 3.10 – Результати екологічного діагностування дизеля 4ЧН 12/14

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань концентрацій – C_{pi} , масових – PM_{mass} та питомих – PM викидів РТ з ЕГ дизеля 4ЧН 12/14

Контрольні режими випробувань					Результати вимірювань		
№ реж.	n , $хв^{-1}$	M_k , $Н \cdot м$	P_e , $кВт$	L , $\%$	PM_{mass} , $г/год$	PM , $г/кВт \cdot год$	C_{pi} , $г/мн^3$
1	2000	478,0	100,1	100	37,82	0,378	0,063
2		351,4	73,6	73,5	20,82	0,283	0,038
3		239,0	50,05	50	20,06	0,401	0,042
4		119,5	25,02	25	25,32	1,012	0,062
5	1500	541,2	85,01	100	30,10	0,354	0,074
6		407,7	64,03	75,3	15,61	0,244	0,044
7		274,8	42,95	50,5	11,07	0,258	0,034
8		140,6	22,08	26,0	6,88	0,311	0,023
9	1000	379,6	39,74	100	24,42	0,614	0,125
10		281,2	29,44	74,1	13,06	0,444	0,071
11		189,1	19,8	49,8	5,50	0,278	0,030
12		92,1	9,642	24,3	3,48	0,361	0,019

В ході випробувань також були доєднані рівні виробничого шуму в машинному залі під час роботи гальмівного стенду дизеля 4ЧН 12/14 у відповідності до нормативних вимог (рис. 3.11).

Досліджено концентрації та масові викиди газоподібних $PS - CO$ і NO_x з ЕГ карбюраторного двигуна автомобіля ВАЗ-21081 при його роботі на режимі холостого ходу (рис. 3.12). При цьому використано обладнання: багатокомпонентний газоаналізатор ОКСИ-5М.

Джерело шуму – дизель 4ЧН12/14

Результати досліджень

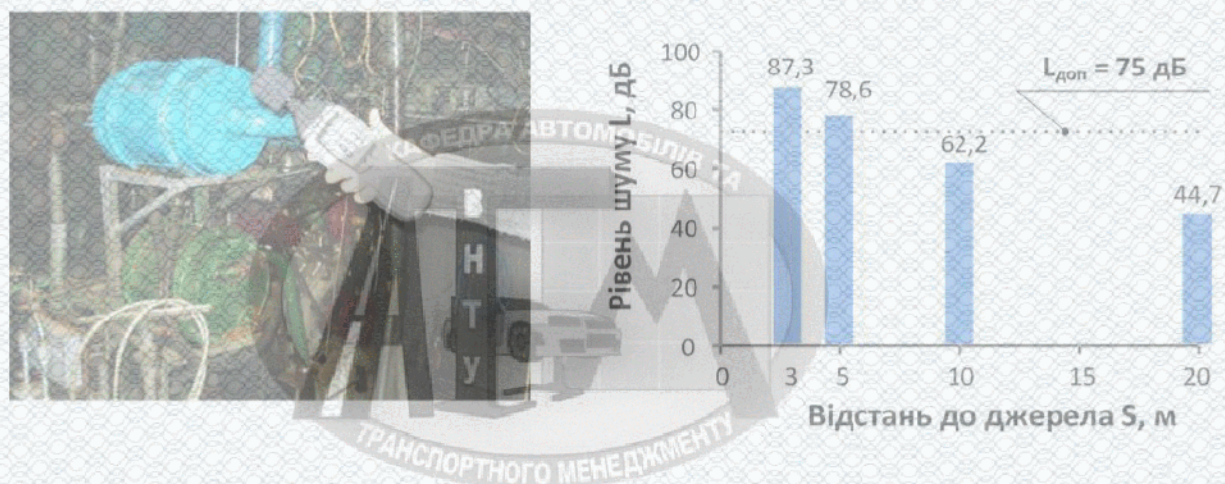


Рисунок 3.11 – Результати досліджень виробничого шуму дизеля 4ЧН 12/14

Загальний вигляд ділянки відбору проб з випускної системи двигуна

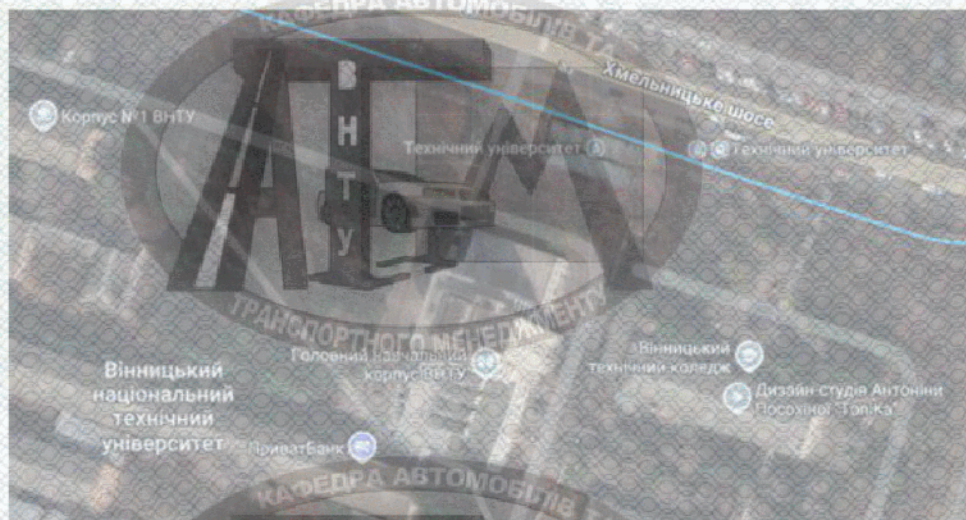


Результати екологічних випробувань двигуна на режимі холостого ходу

Масова витрата ВГ, кг/год	Концентрація у ВГ		Масовий викид ЗР, кг/год	
	CO, %	NO _x , ppm	CO	NO _x
72,1	0,65	215	0,362	0,012

Рисунок 3.12 – Результати досліджень викидів PS з EG карбюраторного двигуна автомобіля ВАЗ-21081

Дослідження рівнів транспортних шумів на міських автомагістралях (рис. 3.13).



Результати порівняння розрахункових та експериментальних даних

Час	Кількість ТЗ	Розрахункові методи			Фактичний рівень шуму	Похибка методу		
		1	2	3		1	2	3
08-12	2430	79,79	65,21	77,19	75,6	5%	13%	3%
12-16	1980	79,01	63,5	76,8	73,8	7%	14%	4%
16-20	1878	78,81	64,81	76,71	74,6	5%	13%	3%

Рисунок 3.13 – Результати досліджень транспортних шумів

Відповідно до нормативних вимог [39, 40] проведено натурні дослідження рівнів транспортних шумів поблизу міських автомагістралей. В ході досліджень проведено порівняння результатів інструментального контролю шуму з використанням шумоміру-реєстратора DT-8852 з розрахунковими даними, отриманими за методиками посібника до МГСН 2.04-97, ГОСТ 2044-85 та СНиП II-12-77. Результати досліджень дозволили порівняти між собою достовірність кожної з них.



4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДВЗ

4.1 Інформаційні методи підвищення точності вимірювань нормованих показників токсичності теплових двигунів

В створеній системі діагностики реалізовано інформаційні методи контролю та підвищення точності вимірювань масових, питомих та середньоексплуатаційних викидів забруднюючих речовин, вимірюваних відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН R-49, R-96 і стандарту ISO 8178 – показників GAS_x і PT

Метод оцінки точності вимірювань нормованих величин GAS і PT дозволяє визначати результуючі похибки вимірювань зазначених величин як похибку результату непрямих вимірювань (табл. 4.1); при цьому використовується формула [37]:

$$\delta y = \frac{1}{y} \cdot \left(\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial y}{\partial x_j} \cdot \partial x_j \cdot x_j \right) \right)^{0.5} \quad (4.1)$$

де y – величина, яка визначається непрямим (розрахунковим) методом за відомою залежністю $y = (x_1, x_2, \dots, x_m)$; x_1 ,

$x_2, \dots, x_m$ – величини, які вимірюються безпосередньо в ході випробувань;

m – кількість таких величин;

δx_j – відомі похибки вимірювань величин x_j .

У табл. 4.1 використані позначення: u_{gas} – постійний коефіцієнт, що залежить від PS ; M_f – маса PT , зібрана на фільтрі; G_{exhi} – масова витрата EG ; WF_i – ваговий фактор i -го режиму; G_{edi} – еквівалентна масова витрата газового потоку в тунелі; m_{sam} – маса проби, яка пройшла через фільтр; C_{gasi} – концентрація газоподібного PS у EG ; K_{Mgasi} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню величин M_{gasi} і $M_{gas(m)}$; K_{Pei} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню величин P_{ei} і $P_{e(m)}$.

Таблиця 4.1 - Формули для обчислень результируючих похибок вимірювань величин GAS і PT

Величина	Визначення величини	Похибка вимірювань величини
Масовий викид газоподібних PS на і-му режимі, M_{gas}	$M_{gas} = u_{gas} \cdot C_{gas} \cdot G_{exh}$	$\delta M_{gas} = \sqrt{\delta C_{gas}^2 + \delta G_{exh}^2}$
Середній за цикл масовий викид газоподібних PS, $M_{gas(m)}$	$M_{gas(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot M_{gas})$	$\delta M_{gas(m)} = \delta M_{gas} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{M_{gas}})^2}$
Середній за цикл масовий викид РТ, $M_{pm(m)}$	$M_{pm(m)} = \frac{m_f}{m_{sam}} \cdot \frac{G_{edf}}{1000}$	$\delta M_{pm(m)} = \sqrt{\delta m_f^2 + \delta m_{sam}^2 + \delta G_{edf}^2}$
Середня за цикл потужність двигуна, $P_{e(m)}$	$P_{e(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot P_{ei})$	$\delta P_{ei} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{P_{ei}})^2}$
Середньоексплуатаційний викид газоподібних PS, GAS	$GAS = \frac{M_{gas(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta GAS = \sqrt{\delta M_{gas(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$
Середньоексплуатаційний викид РТ, PT	$PT = \frac{M_{pm(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta PT = \sqrt{\delta M_{pm(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$

Залежності, наведені в табл. 4.1, використовуватися при аналізі впливу похибок окремих приладів вимірювального обладнання системи діагностики ДВЗ на точність визначення показників GAS і PT.

Метод підвищення точності вимірювань нормованого показника PT був реалізований в мікротунелі МКТ-2, він дозволяє підвищити точність

вимірювань цієї величини за рахунок усунення методичної похибки визначення даної величини - δPT_t , що виникає через вплив температури проби перед пробовідбірним фільтром - t_f на викид РТ, що вимірюється - m_{pm} [54].

Температура t_f при визначенні РТ залежить від температури повітря, яке надходить в тунель - t_{dil} і максимальної температури проби розбавлених EG в тунелі - $t_{f(max)}$, ці величини відповідно до вимог нормативного документу ISO 8178, можуть змінюватись у діапазонах - $t_{dil} = 20...30$ °C та $t_{f(max)} = 42...52$ °C.

На основі аналізу результатів досліджень похибки δPT_t , приведених в роботах [59, 60], запропоновано наступну залежність для її визначення [61]:

$$\delta PT_t = \sum_{i=1}^n k_{modeli} \cdot K_{Mpmi} \cdot (t_{fi} - t_{foi})$$

де n – кількість режимів випробувального циклу;

K_{Mpmi} – коефіцієнт, що дорівнює відношенню масового викиду РТ на i -му режимі до середнього за цикл викиду РТ;

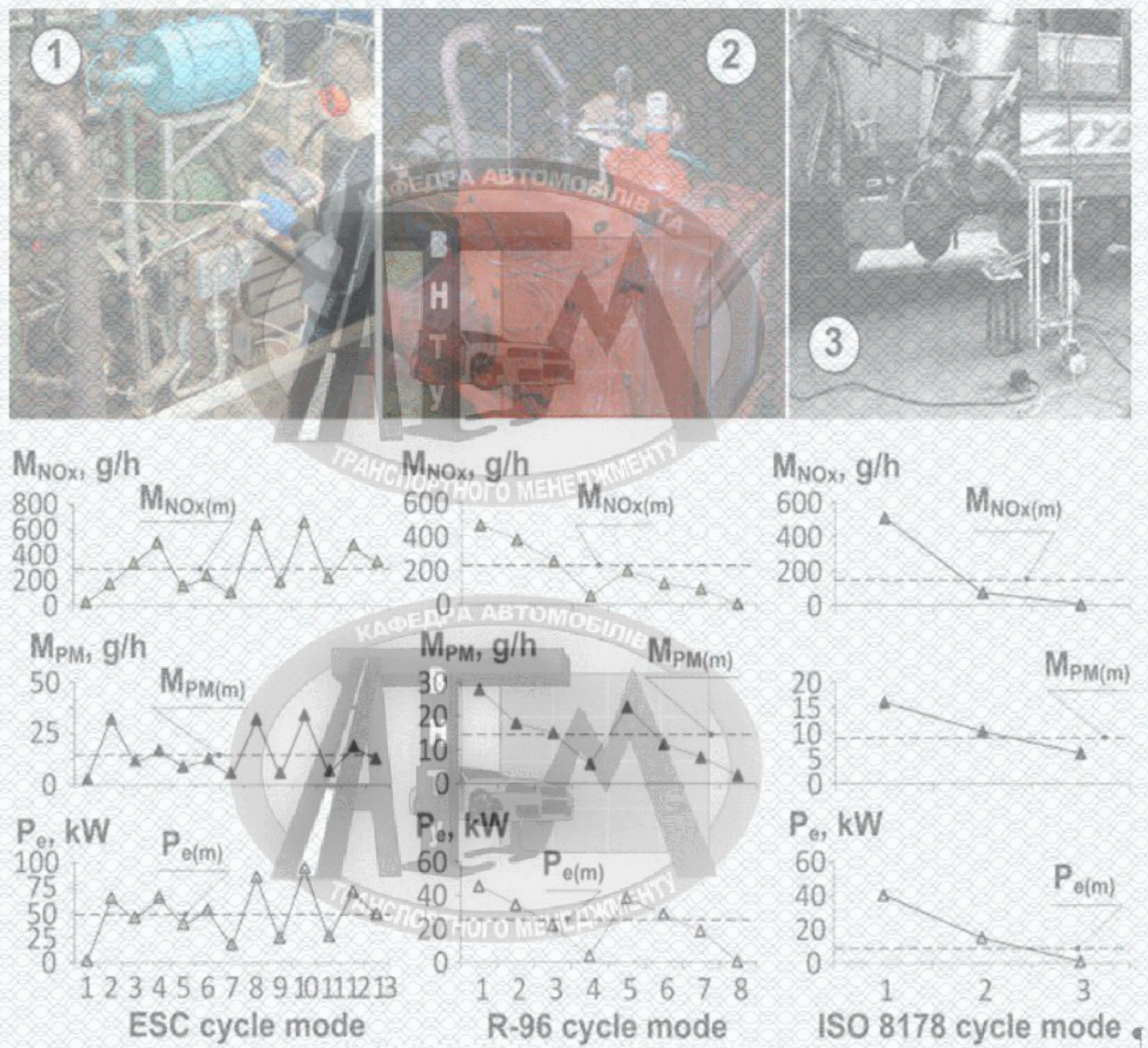
K_{modeli} – коефіцієнт, що враховує вплив режиму роботи двигуна на величину δPT_t , який визначається за методикою, викладеною в роботі [81];

t_{fi} – фактичне значення температури проби на i -му режимі;

t_{foi} – температура проби на i -му режимі, яка приймається за базову і відповідає значенням $t_{dil} = 20$ °C і $t_{f(max)} = 52$ °C.

Результати експериментальних досліджень інформаційних методів в ході випробувань системи екологічної діагностики ДВЗ. Проведено випробування системи діагностики на натурних об'єктах – транспортних дизелях: автотракторному – 4ЧН12/14, тракторному – Д65М, тепловозному – двигуні дизель-поїзда ДЕЛ-01 (рис. 4.1).

В результаті випробувань зазначених двигунів за циклами, встановленими Правилами СЕК ООН R-49, R-96 і стандартом ISO-8178, визначено коефіцієнти K_{Pi} , K_{Mgasi} і K_{Mpmi} , які використовуються при оцінюванні точності вимірювань показників GAS і РТ (табл. 4.2, 4.3), досліджені результуючі похибки вимірювань цих величин і визначено діапазон варіювання методичної похибки δPT_t (рис. 4.2).



1 – автомобільний двигун 4ЧН12/14; 2 – тракторний двигун Д65М;

3 – двигун дизель-поїзда ДЕЛ-01.

Рисунок 4.1 – Результати екологічного діагностування транспортних дизелів:

В результаті випробувань вказаних транспортних двигунів за циклами, встановленими стандартом ISO-8178, Правилами ЄЕК ООН R-49 та R-96 було встановлено коефіцієнти K_{Ti} , $K_{M_{gasi}}$ і $K_{P_{mi}}$, які використовуються при оцінюванні точності контролю показників GAS і PT (табл. 4.2, 4.3), досліджені результуючі похибки вимірювань цих величин і визначено діапазон варіювання методичної похибки δPT_t (рис. 4.2).

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнтів K_{P_i} , $K_{M_{gas}}$ і $K_{M_{pm}}$, визначені експериментально для режимів циклу R-96

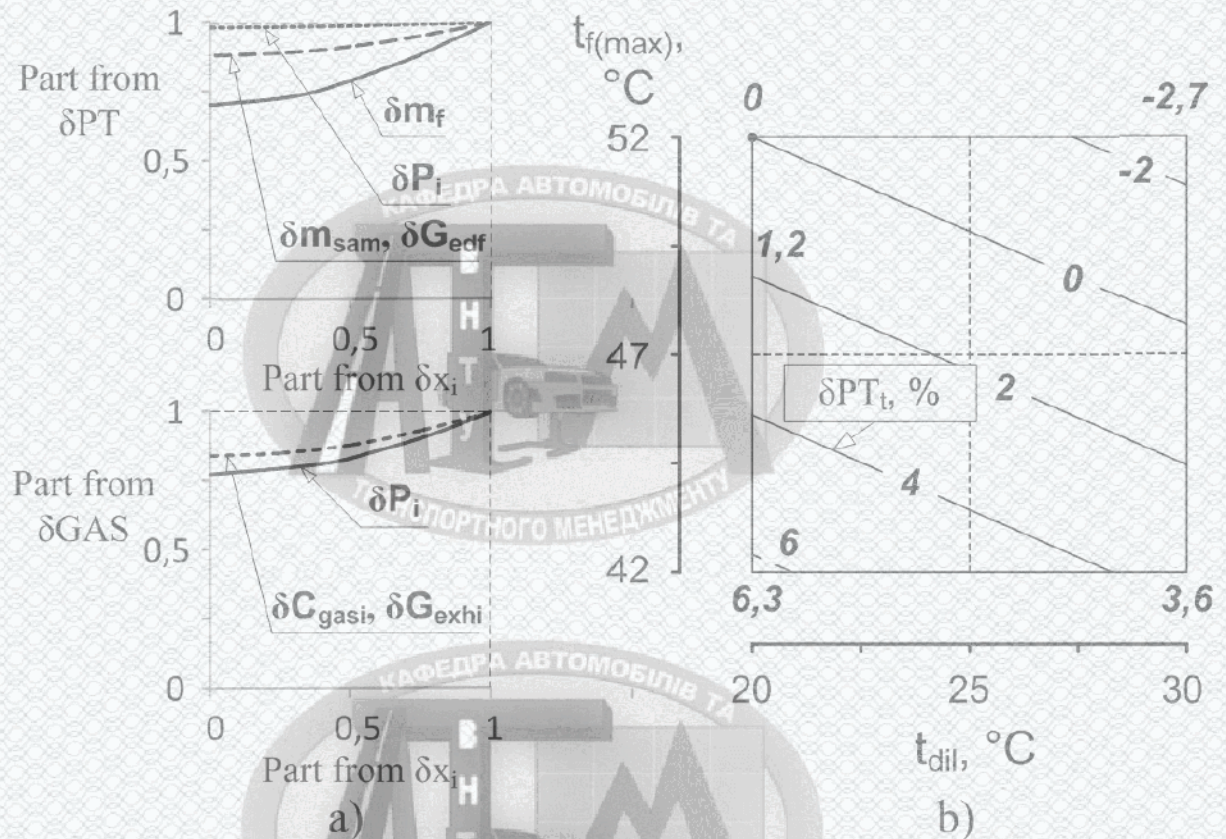
Величина	Режими випробувального циклу R-96							
	1	2	3	4	5	6	7	8
K_P	1,86	1,41	0,91	0,16	1,57	1,18	0,77	0,03
$K_{M_{pm}}$	1,96	1,26	1,05	0,40	1,59	0,82	0,54	0,16
$K_{M_{gas}}$	2,19	1,78	1,19	0,25	0,94	0,59	0,44	0,03

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнтів K_{P_i} , $K_{M_{gas}}$ і $K_{M_{pm}}$, визначені експериментально для режимів циклу ISO 8178-F

Коефіцієнт	Режим циклу ISO 8178-F		
	1	2	3
K_P	4,41	1,87	0,04
$K_{M_{pm}}$	1,68	1,05	0,74
$K_{M_{gas}}$	3,25	0,48	0,07

Аналіз отриманих результатів показує наступне:

- результуючі похибки вимірювань показників GAS і PT, що забезпечуються системою діагностики, складають: $\delta_{GAS} = \pm 2,8 \%$ і $\delta_{PT} = \pm 4,3 \%$; при цьому найбільший вплив на точність вимірювань показника GAS має похибка вимірювань потужності двигуна – δP_{ei} , на точність вимірювань показника PT – похибка вимірювань маси PT – δm_f ; збільшення точності вимірювань P_{ei} і m_f дозволяє знизити похибки δ_{GAS} і δ_{PM} на 17% і 21%,



а) оцінка точності вимірювань показників РТ і GAS;

б) оцінка діапазону варіювання похибки δPT_t .

Рисунок 4.2 – Результати оцінки точності контролю PS:

– діапазон варіювання методичної похибки δPT_t становить: $-2,7 \dots +6,3\%$, при цьому найбільше значення, що перевищує 5%, дана похибка приймає при $t_{dil} = 20 \dots 22 ^\circ C$ і $t_{f(max)} = 42 \dots 44 ^\circ C$; для усунення похибки δPT_t і підвищення точності вимірювань показника РТ в тунелі може застосовуватись регулювання температури проби.

4.2 Оцінка економічної ефективності способу прискореного виміру викидів РТ з EG тепловозних дизелів

З початком нормування показника РТ виникла проблема зростання (у $1,1 \dots 2,1$) рази економічних витрат на проведення екологічних випробувань тепловозів [61] з причини підвищених витрат часу на відбір проб РТ. Так,

якщо для визначення викидів газоподібних забруднюючих речовин на кожному режимі роботи дизеля достатньо витратити 3-5 хв., то для визначення викидів РТ – в декілька разів більше. З часом, по мірі підвищення вимог екологічних стандартів щодо показників токсичності тепловозів, швидкість виміру показника РТ буде знижуватись, а витрати часу та палива на проведення випробувань – зростати. Розрахункові дослідження показують, що зі зменшенням рівнів викидів РТ з ЕГ тепловозних дизелів на кожні 10 % (порівняно з рівнями викидів РТ, які існують сьогодні) вартість екологічних випробувань тепловозів зростає на 5...12% [37].

Для вирішення цієї проблеми в екологічному діагностуванні тепловозів слід використовувати спосіб прискореного виміру показника РТ, який характеризується підвищеною швидкістю вимірювань цієї величини [31].

Мета досліджень полягала в оцінюванні економічної ефективності та підтвердженні практичної придатності методу прискореного виміру (FSM) середньоексплуатаційного викиду РТ з ЕГ тепловозів – нормованого екологічного показника РТ. Для досягнення цієї мети проведено:

- 1) аналіз вимог нормативних документів щодо процедури визначення показника РТ в ході екологічних випробувань тепловозів та встановлення параметрів FSM;
- 2) розробку методики оцінки економічної ефективності та експериментального відпрацювання FSM;
- 3) оцінку економічної ефективності FSM та підтвердження його практичної придатності.

Аналіз вимог нормативних документів щодо процедури визначення показника РТ та встановлення параметрів FSM. У відповідності до вимог міжнародного стандарту ISO 8178 екологічні випробування тепловозів являють собою цикли, що складаються з нормованих режимів роботи тепловозного дизеля. При реалізації циклу ISO 8178-F кількість режимів дорівнює 3-м; вітчизняним аналогом цієї процедури є 5-ступінчатий цикл ГСТУ 32.001-9.

Найбільш поширені сьогодні способи контролю викидів РТ характеризуються швидкостями фільтрації проби - $v_f = 60 \dots 80$ см/с і масами навішувань РТ при ОФ і БФ методах відбору проб - $M_f = M_{fi} = 1,3$ мг [17–19].

Нормативними документами встановлено такі обмеження параметрів, що впливають на швидкість вимірювання масових викидів РТ: швидкість фільтрації проби розбавлених ЕГ - v_f повинна знаходитись в діапазоні 35...100 см/с; маса навішування РТ, яка збирається на фільтрах, не має бути меншою ніж мінімально допустиме значення: при одно фільтровому (ОФ) методі - $M_{fi(min)} = 0,25$ мг, при багато фільтровому (БФ) методі - $M_{fi(min)} = 0,14$ мг (при використанні фільтрів з діаметрами 70 мм) [22].

Разом з цим згідно з нормативними вимогами допускається реалізація способу прискореного відбору проб РТ (FSM), який характеризується максимально допустимою швидкістю фільтрації - $v_{f(max)} = 100$ см/с і мінімально допустимими масами навішувань - $M_{fi(min)} = 0,25$ мг і $M_{fi(min)} = 0,14$ мг. Застосування даного способу дозволяє скоротити витрати часу на відбір проб РТ: при ОФ методі - в 3,1...4,1 рази; при БФ методі - в 5,3...7,1 рази і, внаслідок цього, зменшити вартість процедури екологічних випробувань дизеля [17].

Методика оцінки економічної ефективності використання FSM передбачає порівняння 2-х способів контролю викидів РТ: способу, що використовується сьогодні (найбільш швидкісної його реалізації), названого *способом 1*, та FSM, названого *способом 2*. В якості критеріїв порівняння виступають величини абсолютної - C^{test} та виносної - $\overline{C^{test}}$ вартості екологічних випробувань тепловозів. Величина $\overline{C^{test}}$ визначається, як відношення вартості випробувань, в ході яких вимірюються показники GAS_x і РТ, до вартості випробувань, в ході яких вимірюються тільки показники GAS_x .

Абсолютна вартість випробувань визначається за допомогою формул:

$$C^{test} = M_{fuel}^{test} \times c_{fuel} + k_{oil} \times M_{fuel}^{test} \times c_{oil} + \tau^{test} \times c_{test}, \quad (4.1)$$

$$M_{fuel}^{test} = G_{fuel}^{heat} \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n (G_{fueli} \times \tau_i^{mode}) \quad (4.2)$$

$$\tau^{test} = \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n \tau_i^{mode} \quad (4.3)$$

$$\tau_i^{mode} = \tau_i^{st} + \max \{ \tau_i^{sam(GASx)}; \tau_i^{sam(PM)} \}, \quad (4.4)$$

де M_{fuel}^{test} - витрати палива на проведення випробувань, кг;

k_{oil} – коефіцієнт, який дорівнює відношенню маси масла, що витрачається в ході випробувань, до маси витрачаємого палива;

c_{fuel} – питома вартість палива, грн/кг;

c_{oil} – питома вартість масла, грн/кг;

c_{test} – вартість 1 години роботи персоналу, грн/год;

G_{fuel}^{heat} – витрата палива на етапі попереднього прогріву дизеля, кг/год;

τ^{test} – тривалість випробувань, год;

G_{fueli} – витрата палива на режимі випробувань, кг/год;

τ_i^{mode} – тривалість роботи дизеля на режимі випробувань, год;

τ^{heat} – тривалість етапу попереднього прогріву дизелю, год;

$\tau_i^{sam(GASx)}$ – тривалість відбору проб газоподібних забруднюючих речовин, год;

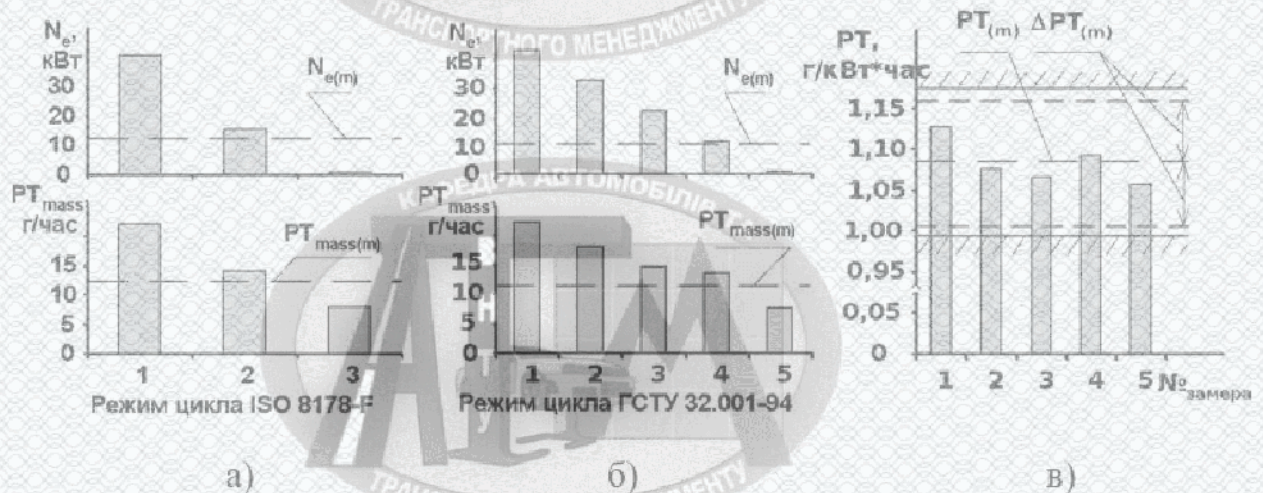
n - кількість режимів випробувань;

τ_i^{st} – витрати часу на температурну стабілізацію дизеля, год;

$\tau_i^{sam(PM)}$ – тривалість відбору проб РТ, год.

Оцінка доцільності використання FSM РТ проводилась на базі результатів екологічних випробувань магістрального – 2ТЕ116 та маневрового ТЕМ-2 тепловозів [30]. В якості процедури випробувань розглядався цикл ISO 8178-F. В ході досліджень враховувався вплив на вартість випробувань такого фактору, як зменшення рівнів викидів РТ, пов'язане з підвищенням вимог екологічних стандартів до показників токсичності EG. Врахування цього фактору проводилось за допомогою відносної величини $\overline{РТ}$, яка визначалась, як відношення двох питомих викидів РТ: існуючого сьогодні та фактичного.

Експериментальне відпрацювання FSM проводилось на базі дизельної установки 4ЧН12/14 з використанням системи контролю викидів РТ – мікротунелю МКТ-2 [31]. В ході випробувань дизеля 4ЧН12/14 реалізовані тепловозні випробувальні цикли ISO 8178-F і ГСТУ 32.001-94 та визначено похибку ${}^{\text{TM}}\text{PT}^{\text{v}}$ (за результатами 5 повторних вимірів показника РТ в ході виконання циклу ISO 8178-F) (рис. 4.3).



а) цикл ISO 8178-F; б) цикл ГСТУ 32.001-94; в) визначення ${}^{\text{TM}}\text{PT}^{\text{v}}$.

Рисунок 4.3 – Результати експериментального відпрацювання FSM

Результати випробувань показали, що величина δPT^{v} (обчислена за допомогою вираження (4.4)) складає 7,2 %, що відповідає вимогам стандарту ISO 8178 та свідчить про практичну придатність FSM. Результати досліджень свідчать про економічну ефективність FSM [63]. Його використання дозволяє при існуючих рівнях викидів РТ знизити витрати на проведення одного сертифікаційного випробування на 0,8...1,5 тис. грн або 9...28%, дослідницького – на 1,7...3,0 тис. грн або 43...53%; при збільшенні параметра $\overline{PT}$ на кожну одиницю вартість одного випробування додатково зменшується: сертифікаційного – на 1,5...3,8 тис. грн, дослідницького - на 3,8...7,8 тис. грн.

5 ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОТУНЕЛІВ І ВИПРОБУВАЛЬНИХ СТЕНДІВ

В розділі проаналізовано результати створення нових засобів і способів контролю витрат газових проб, газоаналізаторів, елементів арматури і розподілу потоків, ін. [39-41].

5.1 Нові засоби і способи контролю масових та об'ємних витрат газових проб

Турбінний тангенціальний витратомір (рис. 5.1) призначений для вимірювання витрат рідин та газів в обох напрямках їхнього руху.

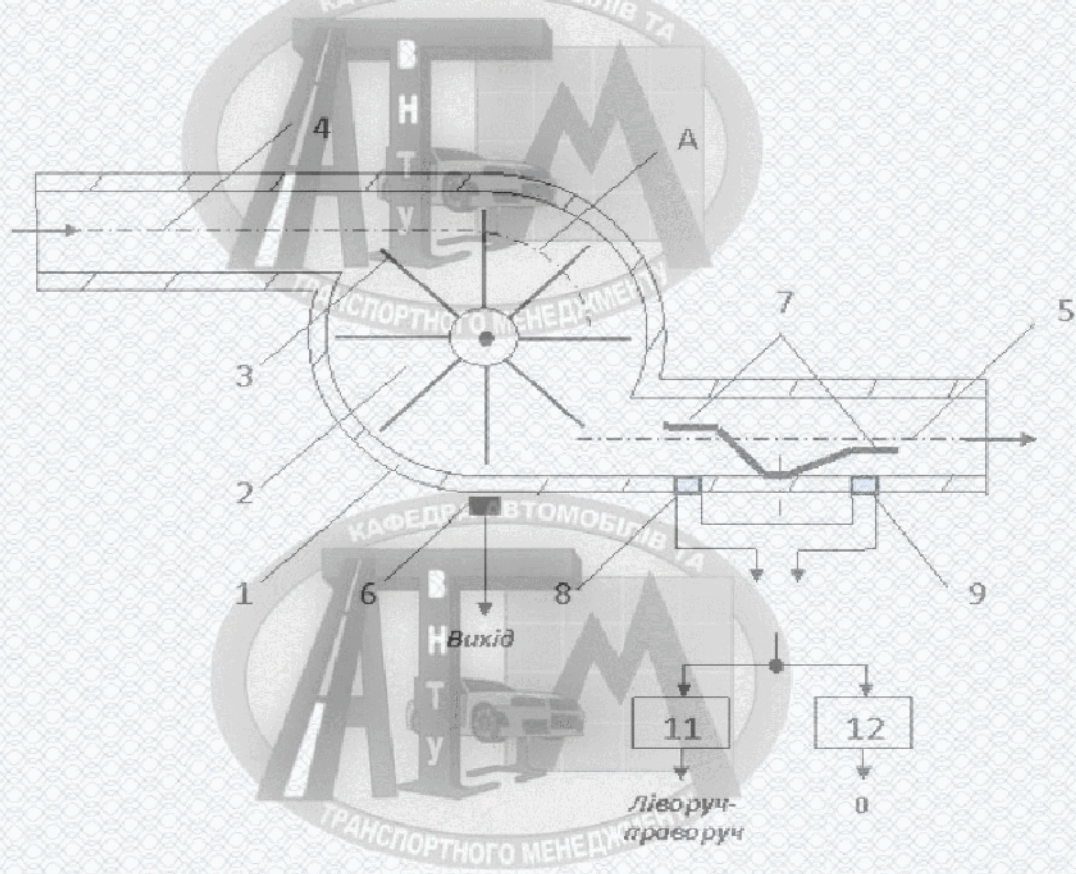


Рисунок 5.1 – Принципова схема турбінного тангенціального витратоміру

Витратомір застосовується в системах газо-, паливопостачання і постачання рідини в трубопроводах поршневих насосів. В основу технічного

рішення поставлено завдання вдосконалення витратоміра шляхом того, що застосовано двоплечий консольний пружний елемент та два струмовихрові чутливі елементи, закріплені в отворі проти плечей двоплечого консольного пружного елемента, причому початки обмоток струмовихрових чутливих елементів з'єднані за диференційною схемою, а їхні кінці підключені до входів диференціального підсилювача, вихід якого з'єднаний зі входом порогового елемента з позитивним порогом спрацювання та зі входом порогового елемента з негативним порогом спрацювання. За рахунок цього запропонований витратомір володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомими, а саме: розширилися функціональні можливості за рахунок можливості визначення витрат як у прямому, так і у зворотному рухах робочого середовища.

Лічильник обліку витрати рідини (рис. 5.2) призначений для обліку витрати рідин. Застосовується для вимірювання витрати рідин у трубах, зокрема, коли рідина тече не по всьому діаметру труби.

В основу технічного рішення поставлено завдання вдосконалення лічильника обліку витрати рідини шляхом того, що застосовано додаткові магніторезистори, розташовані по колу між суміжними постійними магнітами у площині їхнього обертання.

За рахунок цього запропонований лічильник володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомим (прототипом), а саме зросли показники: розрізняльна спроможність у 4...8 разів; точність вимірювання у 2...4 рази; ширина діапазону вимірювання у 1,2...1,5 рази. Забезпечується безконтактний зйом інформації та реалізовано імпульсний вихід лічильника.

Пристрій для вимірювання витрати рідини (рис. 5.3) призначений для вимірювання витрати рідин. Застосовується для вимірювання витрати рідини, зокрема палива двигунів внутрішнього згорання.

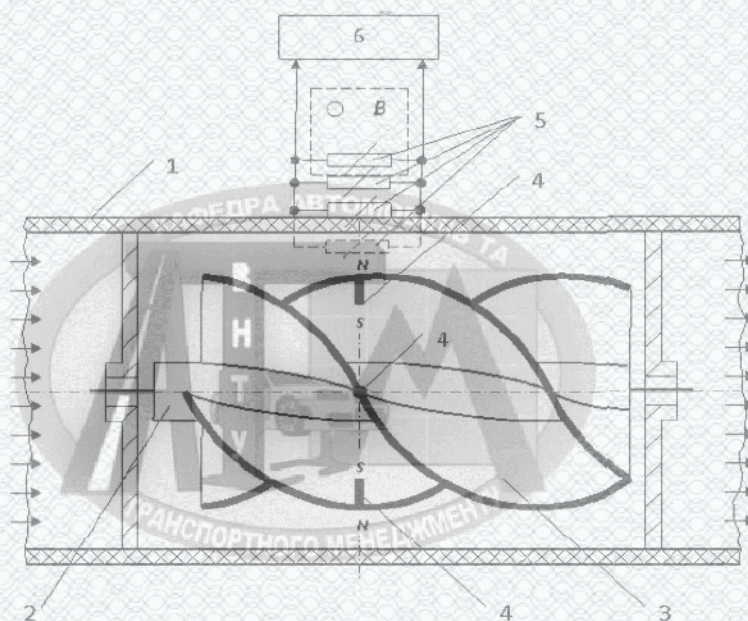


Рисунок 5.2 – Принципова схема лічильнику обліку витрати рідини

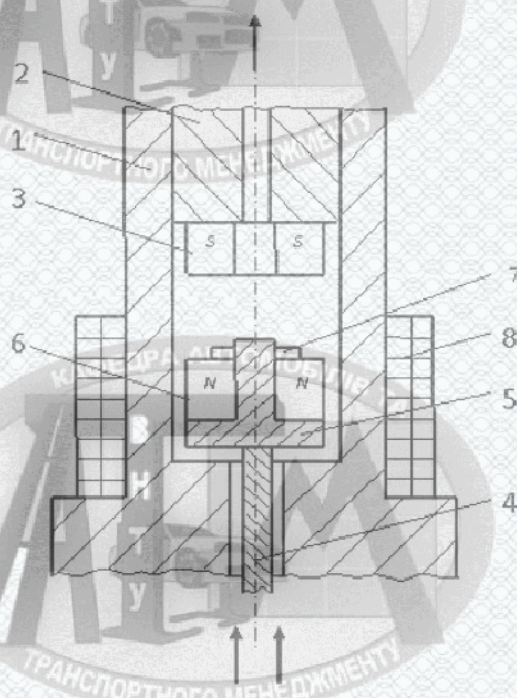


Рисунок 5.3 – Принципова схема пристрою для вимірювання витрати рідини

В основу технічного рішення поставлено завдання вдосконалення пристрою для вимірювання витрати рідини шляхом того, що як пружину

застосовано кільцевий постійний магніт, закріплений до регулюючого гвинта та направлений однойменним полюсом на полюс основного постійного магніту. За рахунок цього запропонований пристрій володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомими, а саме зросли показники: швидкодія у 1,5 рази; термін дії на 40%.

Спосіб вимірювання витрати рідини в трубопроводі (рис. 5.4) призначений для вимірювання витрат рідин та газів. Застосовується для вимірювання рідин та газів у трубопроводах різних діаметрів та призначення.

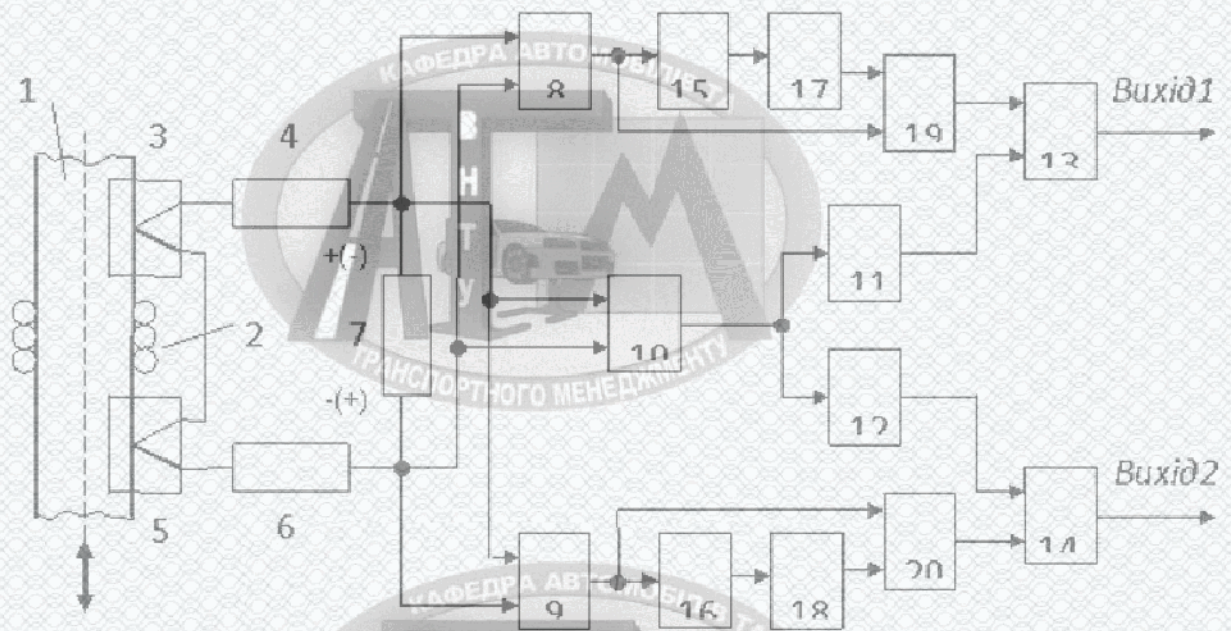


Рисунок 5.4 – Принципова схема способу вимірювання витрати рідини в трубопроводі

В основу технічного рішення поставлено завдання створення способу вимірювання витрат рідини в трубопроводі, в якому завдяки додатковому використанню корисних інформаційних сигналів, які формують шляхом перетворення змінних амплітуд вихідних сигналів основних частотних перетворювачів у частоти за допомогою амплітудних детекторів та додаткових

частотних перетворювачів. За рахунок цього запропонований спосіб забезпечує значно більш високі експлуатаційні властивості у порівнянні з відомими, а саме зросли показники: чутливості у 1,5 рази; точності вимірювання у 1,5 рази; лінійність метрологічної характеристики у 1,2 рази.

5.2 Нові елементи арматури в пневматичних та гідравлічних системах розподілу та регулювання подачею робочого середовища

Дискретний датчик тиску (рис. 5.5) призначений для вимірювання тисків. Застосовується для сигналізації заданих рівнів тиску або перепаду тисків у пневматичних та гідравлічних системах [69].

В основу технічного рішення поставлено завдання вдосконалення дискретного датчика тиску шляхом того, що як чутливий елемент у вигляді притисненого пружиною поршня застосовано додатковий циліндричний постійний магніт та кільцевий постійний магніт, однойменними полюсами направлені один на іншого. За рахунок цього запропонований датчик володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомим (прототипом), а саме зросли показники: швидкодія у 1,5 рази; термін дії на 20%.

Датчик тиску з віброкомпенсацією (рис. 5.6) призначений для вимірювання тиску в умовах дій вібрацій. Застосовується в системах газо- та паливо постачання різного призначення [70]. В основу технічного рішення поставлено задачу вдосконалення датчика тиску з віброкомпенсацією шляхом того, що як дві пари ферозондів, розташованих з протилежних боків постійних магнітів, застосовано два кільцеві багатоелементні ферозондові перетворювачі, виходи яких увімкнені за диференційною схемою.

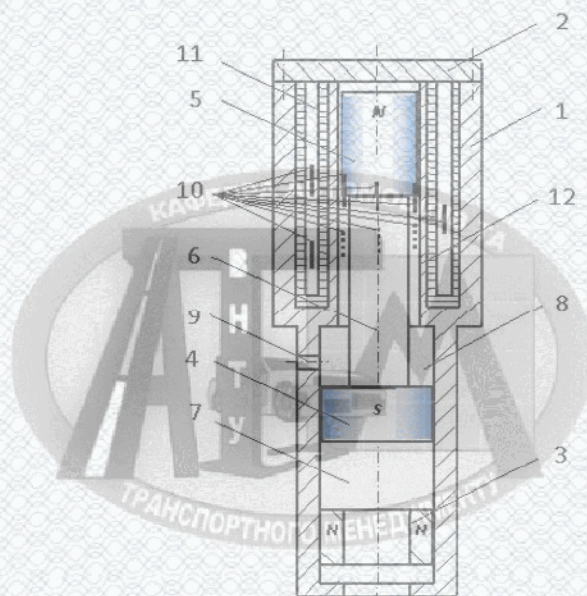


Рисунок 5.5 – Принципова схема дискретного датчика тиску

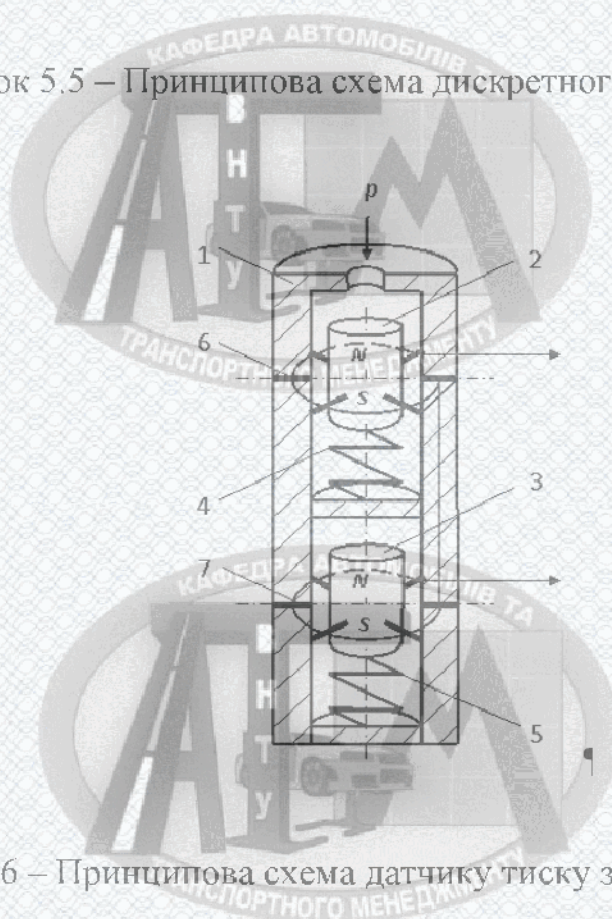


Рисунок 5.6 – Принципова схема датчика тиску з віброкомпенсацією

За рахунок цього запропонований датчик володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомим (прототипом), а саме зросли показники: чутливість у 3...5 разів; точність вимірювання у 1,5 рази. При амплітуді вібрацій, що дорівнює 0,5...2,5 мм, покази датчика не змінюються.

Датчик різниці тисків з віброкомпенсацією [71] (рис. 5.7).

Пристрій призначений для вимірювання різниці тисків в умовах дій вібрацій. Застосовується в системах газопроводів та паливопроводів. В основу технічного рішення поставлено завдання вдосконалення датчика різниці тисків з віброкомпенсацією шляхом того, що в корпусі розташовано третю мембрану, в кожну з мембран вмонтовано постійний магніт, як робочий та компенсуючий індуктивні перетворювачі застосовано робочий та компенсуючий ферозонди, з'єднані за диференціальною схемою, розташовано також додаткові робочий та компенсуючий ферозонди з'єднані за диференціальною схемою, а виходи робочого та додаткового робочого ферозондів утворюють вихід датчика.

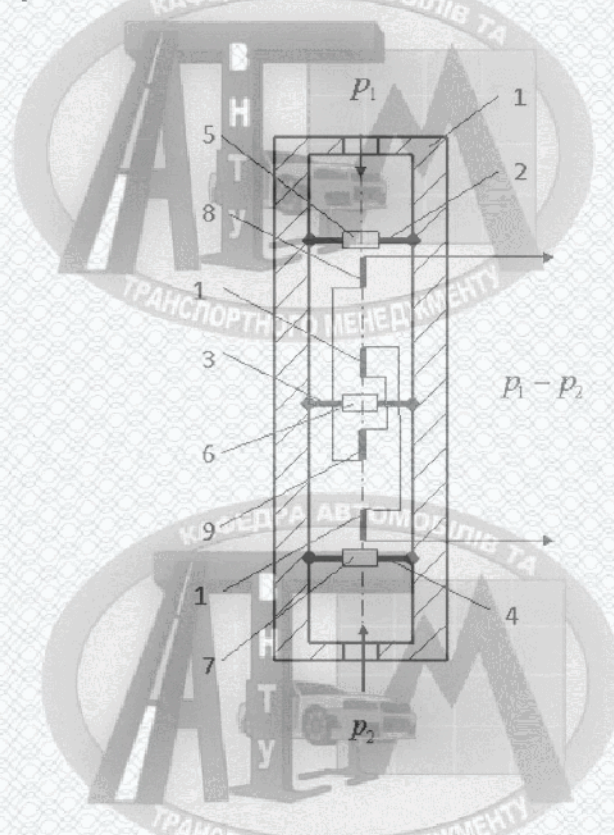


Рисунок 5.7 – Принципова схема датчику різниці тисків з віброкомпенсацією

За рахунок цього запропонований датчик володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомим (прототипом), а саме зріс показник: точність вимірювання у 1,5 рази. При амплітуді вібрацій, що дорівнює 0,3...2 мм, покази датчика не змінюються.

Відсічний клапан (рис. 5.8) призначений для встановлення в гідравлічних та пневматичних системах, а саме на магістралях з потоком середовища в обох напрямках [72].

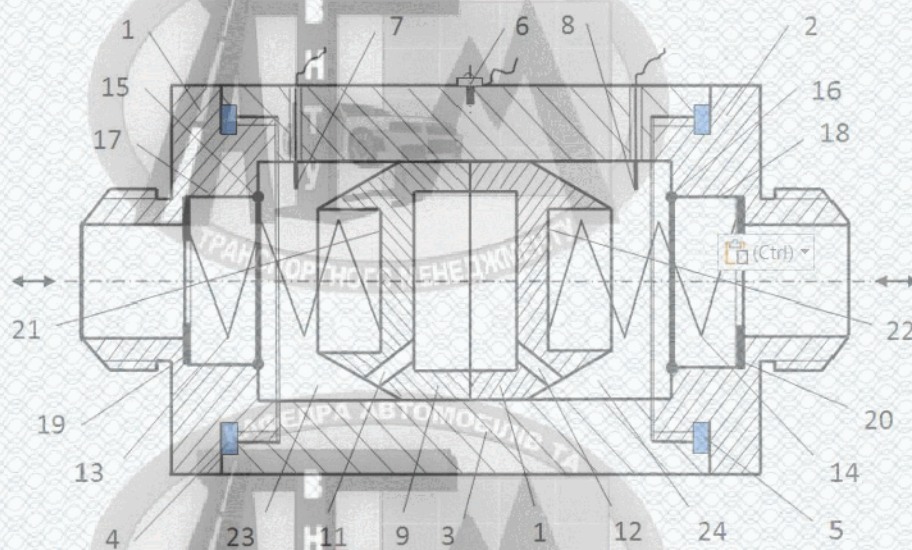


Рисунок 5.8 – Конструкція відсічного клапана

Запропонований клапан володіє значно більш високими експлуатаційними властивостями у порівнянні з відомим (прототипом), а саме: розширилися функціональні можливості клапана.

В основу технічного рішення поставлено завдання вдосконалення відсічного клапана шляхом того, що застосовано додаткову верхню згвинчувальну частину, запірний орган виконаний у вигляді загвинчувальни один до іншого стаканів з наскрізними отворами, а також містить додаткову пружину, що встановлена між додатковим стаканом з наскрізним отвором та додатковою шайбою, додаткове сидло, між додатковою верхньою та нижньою загвинчувальними частинами розташовано додаткове ущільнююче кільце, у додатковій порожнині вмонтовано ізольований додатковий пружний контакт.

Техніко-економічнеобґрунтування роботи. *Опис устаткування використовуваного в дипломному проекті.* Дипломний проект виконується на

персональному комп'ютері з використанням пакетів програм Microsoft Office, Foxit Reader і Matlab Simulink 8.

Розрахунок собівартості НДР. Собівартість є вираженням в грошовій формі поточних витрат підприємства, науково-технічних інститутів на виробництві і реалізацію продукції. Використання показників собівартості в практиці у всіх випадках вимагає забезпечення одноманітності витрат, що враховуються в її складі. Метою обліку собівартості продукції є повне і достовірне визначення фактичних витрат, пов'язаних з розробкою, виробництвом і збутом продукції. Витрати, що включаються в собівартість продукції (робіт, послуг) групуються по наступних елементах:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- інші витрати.

Розрахунок витрат на НДР. Загальні витрати на науково-дослідні роботи визначаються по формулі:

$$З_{НДР} = З_0 + З_д + ЕСВ + Н + З_{ЕКСП}, \quad (5.1)$$

Де $З_0$ — основна заробітна плата, грн.;

$З_д$ — додаткова заробітна плата, грн.;

$ЕСВ$ — єдиний соціальний внесок, грн.;

$Н$ — накладні витрати, грн.;

$З_{ЕКСП}$ — експлуатаційні витрати, грн.

Розрахунок основної заробітної плати:

$$З_0 = \sum_{i=1}^{i=n} T \cdot З_{Ni} \quad (5.2)$$

де T — період розробки, міс.;

$З_{Ni}$ — місячна зарплата i -го виконавця за місяць, грн.;

n — кількість виконавців.

На розробку витрачено 4 місяці. У проєкті брали участь 2 людини: студент і керівник дипломного проєктування. Величина місячної зарплати: для

керівника розробки — 7000 грн, для студента — 1800 грн.

$$З_0 = 2 \cdot 7000 + 2 \cdot 1800 = 17600$$

Величина додаткової заробітної плати приймаються у розмірі 10% від основної заробітної плати:

$$З_д = 0,1 \cdot З_0 \quad (5.3)$$

$$З_д = 0,1 \cdot 17600 = 1760$$

Єдиний соціальний внесок складають 22 % сум основної $З_0$ і додаткової зарплати $З_д$

$$ЕСВ = 0,22 \cdot (З_0 + З_д) \quad (5.4)$$

$$ЕСВ = 0,22 \cdot (17600 + 1760) = 4259,2$$

Накладні витрати:

$$Н = 0,4 \cdot З_0 \quad (5.5)$$

$$Н = 0,4 \cdot 17600 = 7040$$

Витрати на експлуатацію в процесі науково-дослідних розробок:

$$З_{\text{експ}} = А_{\text{кв}} = З_{\text{елкв}} \quad (5.6)$$

де $З_{\text{експ}}$ — експлуатаційні витрати, грн.;

$А_{\text{кв}}$ — амортизація за період НДР, грн.;

$З_{\text{елкв}}$ — витрати на електроенергію за період НДР, грн.

Знайдемо амортизацію за період НДР:

$$А_{\text{кв}} = K_{\text{об.ст}} \cdot N_A \quad (5.7)$$

где $А_{\text{кв}}$ — амортизація за період НДР, грн.;

$K_{\text{об.ст}}$ — вартість устаткування, грн.;

N_A — норма амортизаційних відрахувань, грн.;

Вартість устаткування розраховується:

$$K_{\text{об}} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot n_i, \quad (5.8)$$

де C_i — оптова ціна i -го вида обладнання, грн.;

n — кількість устаткування кожного виду, шт.; m — вид устаткування.

Таблиця 5.1 – Розрахунок Вартості Устаткування

Найменування устаткування	Ціна, грн.	К-ть, шт.	Сума, грн.
Пакет програм Microsoft Office	1500	1	1500
Персональний комп'ютер, зокрема системний блок	6500	1	6500
монітор	4500		
	2000		
Пакет програм Matlab 8	457,95	1	457,95
К _{ОБ}	53795		53795

Ціни на програмне забезпечення (Matlab 8 и Microsoft Office) були узяті з інтернет з магазинів виробників. Вартість ПК була отримана підсумовуванням вартості окремих комплектуючих пропонованих в мережі Інтернет, з урахуванням того що встановлені на кафедрі персональні комп'ютери технічно застаріли.

$$AKB=4500*0,5+2000*0,2+45795*0,2+1500*0,24=3028 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на електроенергію за період НДР:

$$З_{ЕЛ}=C_{квтг} * T * P \quad (5.9)$$

де $C_{квтг}$ вартість одного кВт електроенергії (1,83 грн), грн.;

T — час роботи ПК (8 годин роботи в тиждень впродовж 12 тижнів НДР);

P сумарна потужність споживачів електроенергії, встановлена потужність якої 0,5 кВт;

$$З_{ЕЛ}=1,83*8*12*0,4=70,27 \text{ грн}$$

Тепер обчислимо експлуатаційні витрати:

$$З_{ЕКСЛ}=3028+70,27=3098,27.$$

Таким чином, витрати на науково-дослідні роботи склали:

$$Z_{\text{НДР}} = 17600 + 1760 + 4259,2 + 7040 + 3098,27 = 33757,47 \text{ грн.}$$

Розрахунок економічної ефективності НДР. Економічний ефект від НДР ($E_{\text{НДР}}$) визначаємо як частку ефекту від річної економії затрат, оскільки виконана нами НДР є складовою частиною комплексу робіт зі збільшення надійності двигунів. За попередніми розрахунками ця частка становить 20% від всього обсягу робіт. У цьому випадку:

$$E_{\text{НДР}} = n\% \cdot E_{\text{нф}} = 0,20 \cdot 203202 = 40640,4 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Ефективність НДР:

$$E_{\text{НДР}} = E_{\text{НДР}} / Z_{\text{НДР}} \quad (5.11)$$

де $E_{\text{НДР}}$, $Z_{\text{НДР}}$ — економічний ефект і собівартість НДР, відповідно

$$E_{\text{НДР}} = 40640,4 / 33757,47 = 1,2$$

Термін окупності затрат на НДР:

$$T_{\text{ОК}} = 11,2 = 0,83$$

Таким чином в розділі проведена класифікація витрат і складена калькуляції собівартості виконання НДР. Визначено економічний ефект від застосування альтернативного палива. Ефективність НДР $E_{\text{НДР}}$ складає 1,2, а термін окупності - 303 дня.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи проаналізовано та досліджено показники точності універсальної системи екологічного діагностування транспортних за показниками, що характеризують хімічний та фізичний вплив цих об'єктів на навколишнє середовище. Аналіз отриманих результатів роботи дозволяє зробити наступні висновки.

1. Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень і розробок, які складають науково-практичну базу для підвищення універсальності мікротунелів: математичні моделі: результуючої похибки вимірювань викидів забруднюючих речовин, теплового стану газової проби в тунелі, комплексної оцінки ефективності тунеля за критеріями точності і економічної ефективності використання; макетні зразки мінітунелю МТ-1, мікротунелів МКТ-1 і МКТ-2; випробувальні стенди для досліджень теплових процесів в тунелі, ізокінетичного та компенсаційного режимів відбору проб відпрацьованих газів та ін.

2. Систематизовано вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 стандарту ISO 8178, ГСТУ 32.001-94 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників транспортних двигунів різного призначення; розглянуто принцип дії та основні елементи еталонних повнопотокових та найбільш відомих частковопотокових міні- та мікротунелів.

3. Розроблено принципову схему універсального вимірювального комплексу з мікротунелем МКТ-2 для визначення екологічних показників ТД різних типів, які характеризують негативний вплив цих об'єктів на НС: показників токсичності ВГ: концентрацій, масових, питомих і середньоексплуатаційних викидів ЗР і парникових газів – моно- і діоксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту, діоксиду сірки, ТЧ та ін.

4. Запропоновано використання замість вартісного диференційного способу визначення масової витрати проби ВГ, що потрапляє в мікротунель, альтернативного компенсаційного способу, використання якого дозволяє зменшити вимоги щодо точності витратомірів вимірювача коефіцієнта розбавлення проби – з 0,1% до 2,9 % і знизити за рахунок цього його вартість.

5. Створено експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування ТД, відмінними властивостями якої є: багатофункціональність, компактність, мобільність, зручність у експлуатації, висока ступінь автоматизації, інформативність результатів та ін.

6. Проведено експериментальне відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування теплових двигунів на базі моторних стендів транспортних двигунів – автотракторного дизеля 4ЧН12/14 і бензинового двигуна легкового автомобіля ВАЗ 21081. Запропоновано інформаційні методи підвищення точності створеної системи, які було відпрацьовано в ході випробувань дизелів 4ЧН12/14, Д65М і ДЕЛ-01 за циклами Правил ЄЕК ООН R-49, R-96, стандарту ISO-8178.

7. З метою підвищення економічної ефективності екологічних випробувань тепловозів запропоновано використання способу прискореного виміру нормованого показника РТ, який дозволяє зменшити витрати часу на відбір проб ТЧ: при проведенні сертифікаційних випробувань – у 3,1...4,1 рази, дослідницьких випробувань – у 5,3...7,1 рази.

8. Розроблено інноваційні способи і пристрої контролю параметрів устаткування, в результаті використання яких підвищується ефективність екологічного діагностування ТД, а саме: витратоміри, газоаналізатори, елементи арматури пневматичних та гідравлічних систем, датчики вібрацій, крутного моменту, тощо.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Littera D. Comparison of Particulate Matter Emissions from Different Aftertreatment Technologies in a Wind Tunnel / D. Littera, A. Cozzolini, M. Besch, M. Velardi et al. // SAE Technical Paper № 2013-24-0175, 2013. – 17 p.
2. Lianga Z. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS / Z. Lianga, J. Tiana, S. Zeraati Rezaeia, Y. Zhanga et al. // School of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK, 2015. – 31 p.
3. Клименко О.А. Дослідження та створення перспективної системи для визначення масових викидів забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигунів / О.А. Клименко, А.М. Редзюк, О.В. Кудренко, С.О. Ричок // Автошляховик України, 2012. – № 5 (229) – С. 2–8.
4. Редзюк А.М. Щодо визначення масових викидів забруднюючих речовин двигунами колісних транспортних засобів / А.М. Редзюк, О.А. Клименко, О.В. Кудренко // Автошляховик України, 2012. – № 4(228) – С.2–7.
5. Foote E. Evaluation of Partial Flow Dilution Methodology for Light Duty Particulate Mass Measurement / E. Foote, M. Maricq, M. Sherman, D. Carpenter et al. // SAE Technical Paper № 2013-01-1567, 2013. – 10 p.
6. Alozie, N. Influence of Dilution Conditions on Diesel Exhaust Particle Measurement Using a Mixing Tube Diluter / N. Alozie, D. Peirce, A. Lindner, W. Winklmayr et al. // SAE Technical Paper № 2014-01-1568, 2014. – 14 p.
7. Alozie N. Comparative Influences of Air and Nitrogen as Dilution Gases in Measurement of Diesel Engine Particle Number Concentrations / N. Alozie, D. Peirce, L. Ganippa // SAE Technical Paper № 2014-01-1576, 2014. – 10 p.
8. Варламов Г.Б. Основні особливості реалізації принципу екологічної рівноваги на екологічному об'єкті / Г.Б.Варламов, І.С. Дідик // Молодий вчений, 2016. – № 1, Ч.3. – С. 104–107.
9. Варламов Г.Б. Загальні підходи до створення методологічних основ енерго-екологічного аналізу експлуатації об'єктів ПЕК / Г.Б. Варламов, К.О.

Приймак, Х. Шварцзова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2013. - № 10 (116). – С. 2-9.

10. Bielaczyc P. Exhaust Emissions of Gaseous and Solid Pollutants Measured over the NEDC, FTP-75 and WLTC Chassis Dynamometer Driving Cycles / P. Bielaczyc, J. Woodburn Szczotka // SAE Technical Paper № 2016-01-1008, 2016. – 13 p.

11. Steven H. Development of Worldwide Harmonized Heavyduty Engine Emissions Test Cycle / H. Steven // Final Report ECE-GRPE WHDC Working Group. Informal document No2 GRPE 42nd session. 2001. TRANS/WP 29/GRPE/2001/2. 58 p.

12. ISO 8178-1: 2017. Reciprocating internal combustion engines. Exhaust emission measurement. Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 2017. 150 p.

13. Regulation № 96. Revision 3. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with regard to the emissions of pollutants by the engine. E/ECE/TRANS/505. 2014. 416 p.

14. Regulation № 83. Revision 6. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements. / / United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. // E/ECE/TRANS/505, 2015. 267 p.

15. Regulation № 49. Revision 6. Uniform provision concerning the approval of compression ignition and natural gas engines as well as positiveignition engines fuelled with liquefied petroleum gas and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine. // E/ECE/TRANS/505, 2013. 434 p.

16. Оценка неопределенности результатов измерений выбросов твердых частиц в ходе экологических испытаний дизелей / А.П. Полив'янчук // Вісник

Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2012. - №5 (176). – С. 121-128.

17. Исследование результирующей погрешности измерений среднеэксплуатационного выброса взвешенных частиц с отработавши газами / А.П. Полив'янчук, О.Р. Игнатов // Прикладна екологія. Збірник наукових праць СХУ ім. В. Даля, 2012. - №1 (4). - С.73-82.

18. Математическое моделирование процесса теплоотдачи в системе экологической диагностики тепловоза – разбавляющем туннеле / А.П. Полив'янчук // Вісник СХУ ім. В. Даля, 2016. – №5(229). – С. 42-50.

19. Математичне моделювання теплового стану газової проби в системах екологічного діагностування транспортних двигунів / А.П. Полив'янчук // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна: «Екологія», 2016. –Випуск №15. –С. 106-112.

20. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure / Draft Global Technical Regulation (GTR). UN/ECE-WP 29 – GRPE WHDC Working Group. Informal Document № GRPE-48-7. 2004. 86 p.

21. Полив'янчук А.П. Измерительный комплекс для определения массовых выбросов твердых частиц дизелей. / А.П. Полив'янчук, В.А. Звонов // Авиационно-космическая техника и технология. Тепловые двигатели и энергоустановки. Сб. науч. тр. ХАИ, 2000. - Вып. 19. - С.478 - 481.

22. Обоснование целесообразности применения методики ускоренного замера показателей токсичности отработавших газов тепловозов / А.П. Полив'янчук, Н.С. Головки. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2005. - № 8 (90), – С. 204–209.

23. Полив'янчук А.П. Аналіз методу динамічних вимірювань концентрацій твердих частинок у відпрацьованих газах дизелів з оптико-електричним чуттєвим елементом. / А.П. Полив'янчук, М.Ф. Смирний, О.О. Холкіна, // Двигатели внутреннего сгорания, 2015. – № 1. – С. 52–56.

24. Полив'янчук А.П. Сравнительный анализ дифференциального и компенсационного способов измерения массового расхода отработавших

газов дизеля в микротуннеле. / А.П. Полив'янчук // Двигатели внутреннего сгорания, 2011. – №2. – С. 123-126.

25. Підвищення економічної ефективності екологічних випробувань тепловозів / А.П. Полив'янчук, В.А. Звонов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2005. - Вип. 68. - С. 168-176.

26. Polivyanchuk A., Parsadanov I. Experimental verification of microtunnel MKT-2 on the brake stand autotractor diesel engine / A. Polivyanchuk // Industrial technology and engineering. Republic of Kazakhstan. 2015. №2 (15). P. 11-16.

27. Исследование изокINETического режима отбора отработавших газов дизеля в минитуннеле. / А.П. Полив'янчук, Е.А. Холкина // Вісник СХУ ім. Даля, 2015. – № 3 (220). – С. 82-86.

28. Полив'янчук А.П. Разработка методики и экспериментальной установки для исследования теплоотдачи в разбавляющем туннеле отработавших газов дизеля / А.П. Полив'янчук // Двигатели внутреннего сгорания, 2012. - № 1. - С. 93-95.

29. Полив'янчук А.П. Дослідження ефективності використання вимірювального комплексу з мікротунелем MKT-2 при проведенні екологічного діагностування тепловозів / А.П. Полив'янчук, Т.В. Харитонова, // Вісник СХУ ім. В. Даля. 2007. № 8(114). С. 119-124.

30. Підвищення універсальності та точності системи контролю викидів дизельних твердих частинок – мікротунелю MKT-2. / А.П. Полив'янчук, Т.С. Харитонова, Т.В. Несмашная // Авіаційно-космічна техніка і технологія. - 2007. - №9/45. - С. 67-70.

31. Lianga Z. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS / Z. Lianga, J. Tiana, S. Rezaei, Y. Zhanga // School of Mechanical Engineering, University of Birmingham. 2015. 31 p.

32. Smart Sampler PC SPC 472. PC program for SPC 472 control. AVL, List GmbH Graz, 1993. – 76 p.

33. Hardenberg H. Grenzen der Rußmassbestimmung aus Optischen Transmessungen / H. Hardenberg, H. Albrecht // MTZ: Motortechn. Z. 1987. № 2. P. 51–54.

34. Polivyanchuk A. Improving the efficiency of emission control dispersed particles from diesel exhaust gases / A. Polivyanchuk // Вісник Харківського національного університету ім. Каразіна. Серія «Екологія». 2014. №1140, вип. 11. С. 83-88.

35. Исследование выбросов твердых частиц с отработавшими газами на неустановившихся режимах работы автотракторного дизеля. / А.П. Поливянчук, И.В. Парсаданов, Е.А. Холкина, Е.А. Гречишкина // Двигатели внутреннего сгорания, 2015. – № 2. – С. 93–97.

36. Anderson J.D. UK Particle Measurement Programme. Phase 2 / Heavy Duty Methodology Development / J.D. Anderson // Final Report. Ricardo Consulting Engineers Ltd. 2003. 222p.

37. Burtscher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel En-gines / H. Burtscher // GRPE . Fachhochschule Aargau, University of Applied Science. 2001. 45 p.

38. Оценка эффективности компенсационного способа измерения массового расхода отработавших газов дизеля в микротуннеле / А. Поливянчук, О. Игнатов // Прикладна екологія. Збірник наукових праць СНУ ім. В. Даля. – 2009.-№ 1(5). С 149-154.

39. Andersson J.D. UK Particle Measurement Programme. Phase 1. Heavy Duty Methodology Development / J.D. Andersson // Final Report. Ricardo Consulting Engineers Ltd, 2002. 136 p.

40. Oswald M. Die dynamische Partikelmessung ein notwendiges Hilfsmittel bei der Entwicklung von Dieselmotoren / M. Oswald // VDI-BER. 1988. № 681. P. 365-377.

41. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure / Draft Global Technical Regulation (GTR). UN/ECE-WP 29 – GRPE WHDC Working Group. Informal Document № GRPE-48-7. 2004. 86 p.

42. Полив'янчук А.П. , Рзаєв С.Р. Підвищення точності систем екологічної діагностики транспортних дизелів - мікротунелів // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: Тези XVII міжнародної науково-практичної конференції 21-23 жовтня 2024 року. – Житомир : Житомирська політехніка, 2024. – С. 185-187.

43. Steven H. Development of Worldwide Harmonized Heavyduty Engine Emissions Test Cycle // H. Steven // Final Report ECE-GRPE WHDC Working Group. // Informal document No2 GRPE 42nd session. 2001. TRANS/WP 29/GRPE/2001/2. 58 p.

44. Tsugio A. Particulate matter emission characteristics under transient pattern driving / A. Tsugio, S. Tatsuji, H. Morimasa // SAE Technical Papers. 1989. №890468. P. 151-163.

45. Oswald M. Die dynamische Partikelmessung ein notwendiges Hilfsmittel bei der Entwicklung von Dieselmotoren / M. Oswald // VDI-BER. 1988. № 681. P. 365-377.

46. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure / Draft Global Technical Regulation (GTR). UN/ECE-WP 29 – GRPE WHDC Working Group. Informal Document № GRPE-48-7. 2004. 86 p.

47. ДСТУ 4276:2004. Атмосфера. Норми і методи вимірювань димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. Київ: Держкомітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2004. 8 с.

48. Schraml S. Simultaneous measurement of soot mass concentration and primary particle size in the exhaust of DI diesel engine by time-resolved laser-induced incandescence (TIRE-LII) / S. Schraml, S. Will, A. Leipertz // SAE Technical Papers, 2001. № 010146. 8 p.

49. Lianga Z. Investigation of SVOC nanoparticle emission from light duty diesel engine using GC×GC-ToF-MS / Z. Lianga, J. Tiana, S. Rezaeia, Y. Zhanga // School of Mechanical Engineering, University of Birmingham. 2015. 31 p.

50. N. Hirakouchi, I. Fukano, T. Shoji. Measurement of Diesel Exhaust Emissions with Mini-Dilution Tunnel. SAE Techn. Pap. Ser. №890181, 1989. – 11p.
51. PS 2000. Particle Sampling System with Dilution Tunnel. – Pirburg AG, Neuss, Germany, 2001. – 4p.
54. Mini-Verdunnungstunnel MT 474. Technische Beschreibung. – AVL, List GmbH Graz, Austria, 1989. – 20 p.
53. Mini Dilution Tunnel. – Perkins Technology Limited. – London, England, 1990. – 16 p.
54. ISO 8178-4: 2017. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part4: Test cycles for different engine applications, 2017. – 237 p.
55. Polivyanchuk A. Effectiveness evaluation of the measuring system with a microtunnel MKT-2 for ecological diagnosis of diesel locomotives / A. Polivyanchuk, O. Kaslin, E. Skuridina // Двигуни внутрішнього згорання, 2018. – № 2. – С. 72–76.
56. Полив'янчук А.П. Концептуальні основи створення універсальних систем контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів / А.П. Полив'янчук, І.В. Парсаданов, О.І. Каслін, О.О. Скурідіна // Двигуни внутрішнього згорання, 2018. – № 1. – С. 56–62.
57. ГСТУ 32.001-94. Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми і методи визначення. - К.: Вид-во стандартів, 1994. - 14 с.
58. Марченко А.П., Парсаданов И.В Проблемы экологизации двигателей внутреннего сгорания. / Двигатели внутреннего сгорания // Науч. техн. журнал. Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005. – №1 – С. 3–7.
59. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К., 1999. – 34 с.

ДОДАТОК А

(обов'язковий)



ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО
ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ ПРАТ
«СТАРОКОСТЯНТИНІВСЬКИЙ СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР»

(назва магістерської кваліфікаційної роботи)



Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МЕТОДІВ І СИСТЕМ
ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ В УМОВАХ
ПРАТ «СТАРОКОСТЯНІВСЬКИЙ СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР»**

Магістерська кваліфікаційна робота

Напрямок підготовки

274 - «Автомобільний транспорт»

Розробив: студент гр. 1АТ-23м

С.Р. Рзаєв

Керівник: д. т. н., професор

А.П. Полив'ячук

Вінниця ВНТУ 2024

Актуальність теми, мета та завдання досліджень

Проблема: зменшення негативного впливу транспортних двигунів (ТД) на навколишнє середовище.

Об'єкт: двигуни внутрішнього згорання, як найпотужніші джерела забруднення атмосфери міст.

Предмет: універсальна система екологічного діагностування ТД на базі частковопотокового розріджувача відпрацьованих газів (ВГ) повітрям – мікротунеля.

Мета: поглиблений аналіз науково-технічної інформації щодо розробки, експериментального відпрацювання та підвищення точності методів і систем екологічного діагностування ТД за нормованими показниками токсичності ВГ.

Завдання:

1. Аналіз та систематизація вимог міжнародних стандартів щодо методів, процедур випробувань та обладнання для визначення нормованих показників, що характеризують хімічний та фізичний вплив ТД на довкілля.
2. Розробка принципової схеми та алгоритму роботи універсальної системи екологічного діагностування ТД, обґрунтування вибору штатних приладів та обладнання.
3. Створення методики оцінювання ефективності систем екологічного діагностування ТД за критеріями точності вимірювань, швидкодії, тривалості та вартості процедури випробувань.
4. Проведення експериментального відпрацювання та досліджень точності методів і систем екологічного діагностування ТД на натурних об'єктах.
5. Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності систем екологічного діагностування ТД.

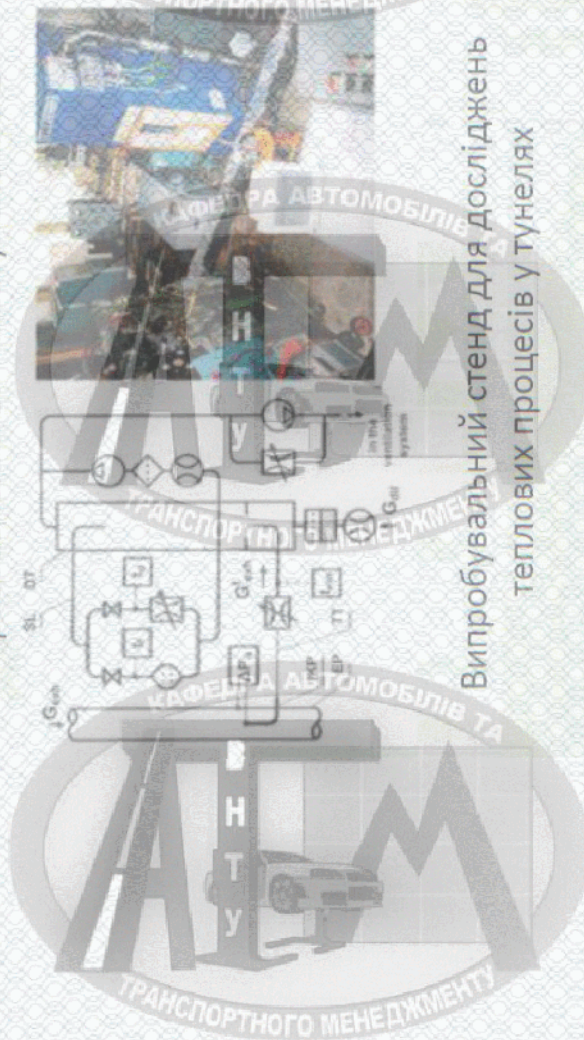
Аналіз базового підприємства – ПрАТ «Старокосянтинівський спеціалізований кар'єр»



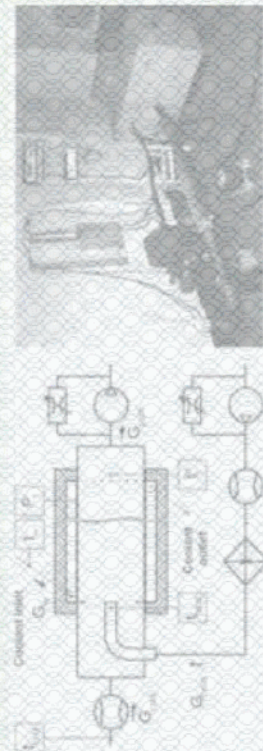
Науково-практичні основи створення універсальних систем екологічного діагностування ТД

Частковопоотокова система

розбавлення ВГ – мінітунель МТ-1



Випробувальний стенд для досліджень теплових процесів у тунелях

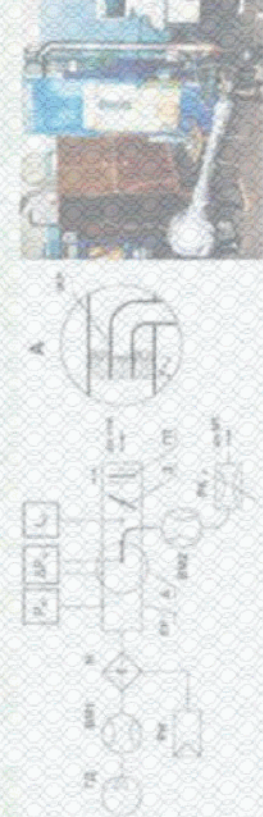


Частковопоотокова система

розбавлення ВГ – мікротунель МКТ-2

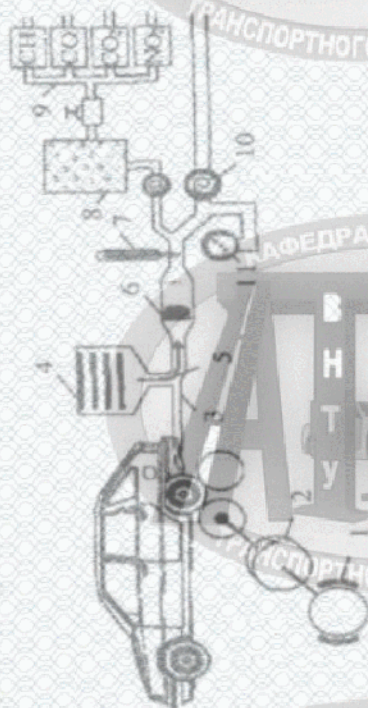


Випробувальний стенд для досліджень процесів відбору проб ВГ у тунелях



Нормативні вимоги щодо процедур діагностування ТД

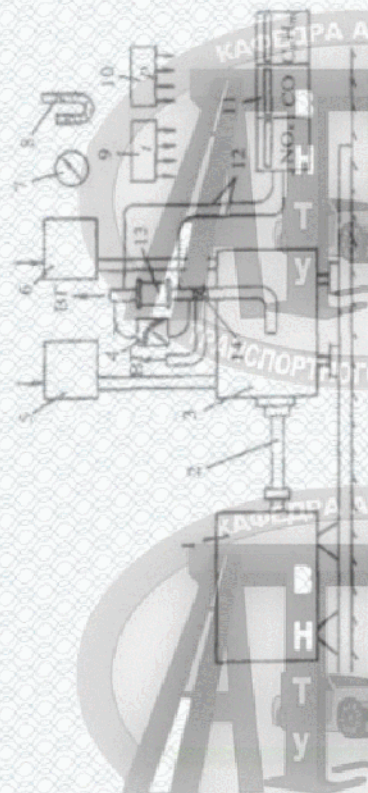
Випробувальний стенд з біговими барабанами



Процедура випробувань автомобільних дизелів – європейський цикл ESC

N_{exp}	n	I_{a} %	WF	T, MB
1	NOT, N/A	-	0.15	4
2	A	100	0.08	2
3	B	50	0.10	2
4	B	75	0.10	2
5	A	50	0.05	2
6	A	75	0.05	2
7	A	25	0.05	2
8	B	100	0.09	2
9	B	25	0.10	2
10	C	100	0.08	2
11	C	25	0.05	2
12	C	75	0.05	2
13	C	50	0.05	2

Гальмівний випробувальний стенд

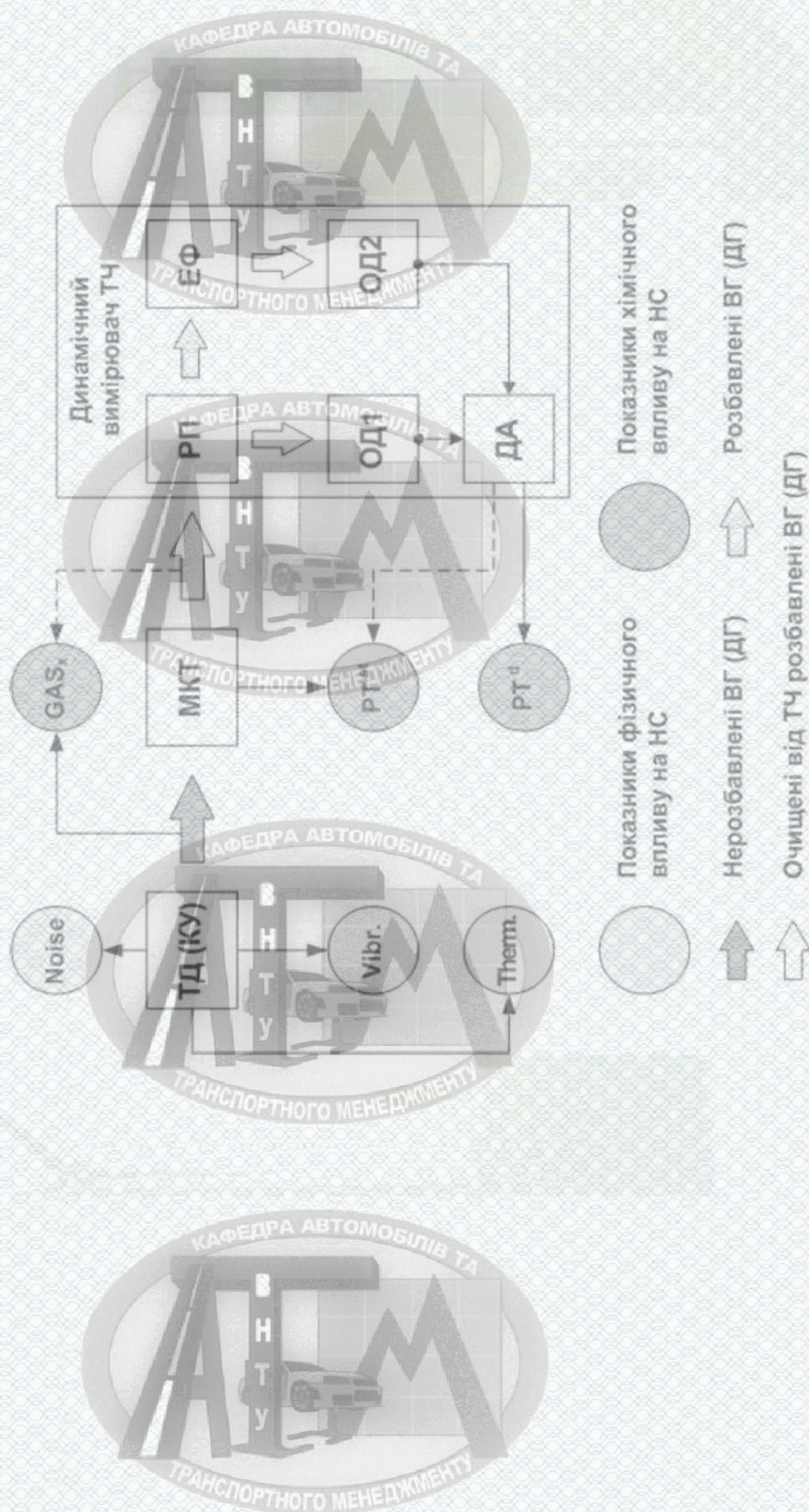


Процедури випробувань тракторних та тепловозних дизелів – цикли R-96 і ISO 8178

$N_{\text{p,acc}}$	n	$L, \%$	WF
1	BOM	100	0,15
2		75	0,15
3		50	0,15
4	mpsm	10	0,1
5		100	0,1
6		75	0,1
7	NOM, NM	50	0,1
8		-	0,15

Factor	ESD (°)	2	1	2	3	4	5
56 points							
Swiss Franc	1.00	1.5	8.00	5.0	1.00	7.5	50
Mark							
56 points							
British	0.25	0.15	0.50				
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							
British							
Swiss							
56 points							

Принципова схема універсальної системи екологічного діагностування ТД з мікротунелем

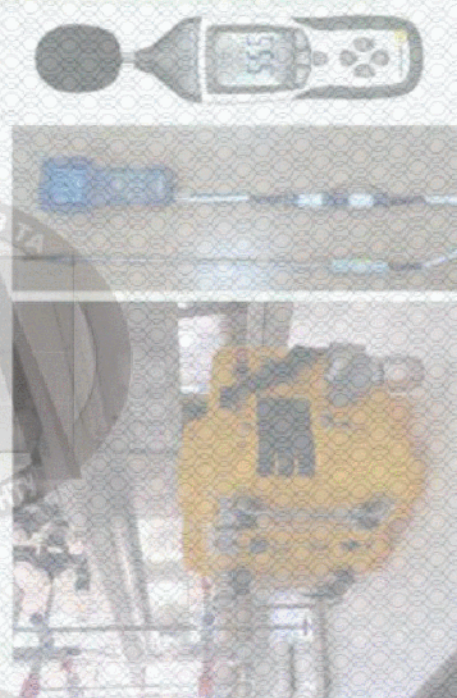


Основні елементи універсальної системи діагностики ТД

Вимірювальний модуль – мікротунель МКТ-



Прилади контролю забруднень довкілля



Тестувально-демонстраційний модуль

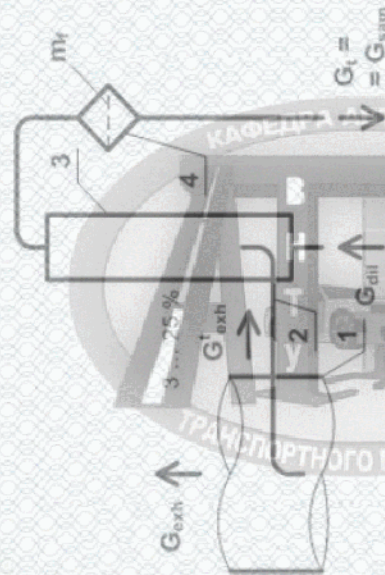


Лабораторний модуль системи діагностики

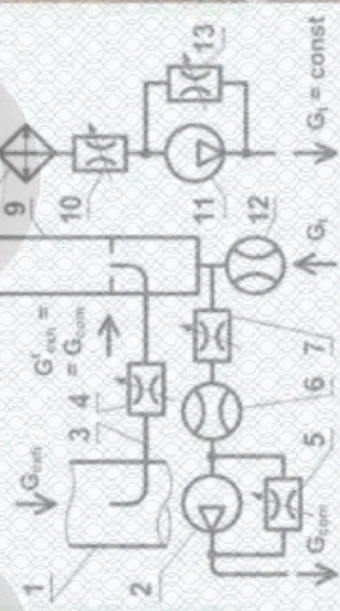


Використання компенсаційного методу відбору проб ВГ

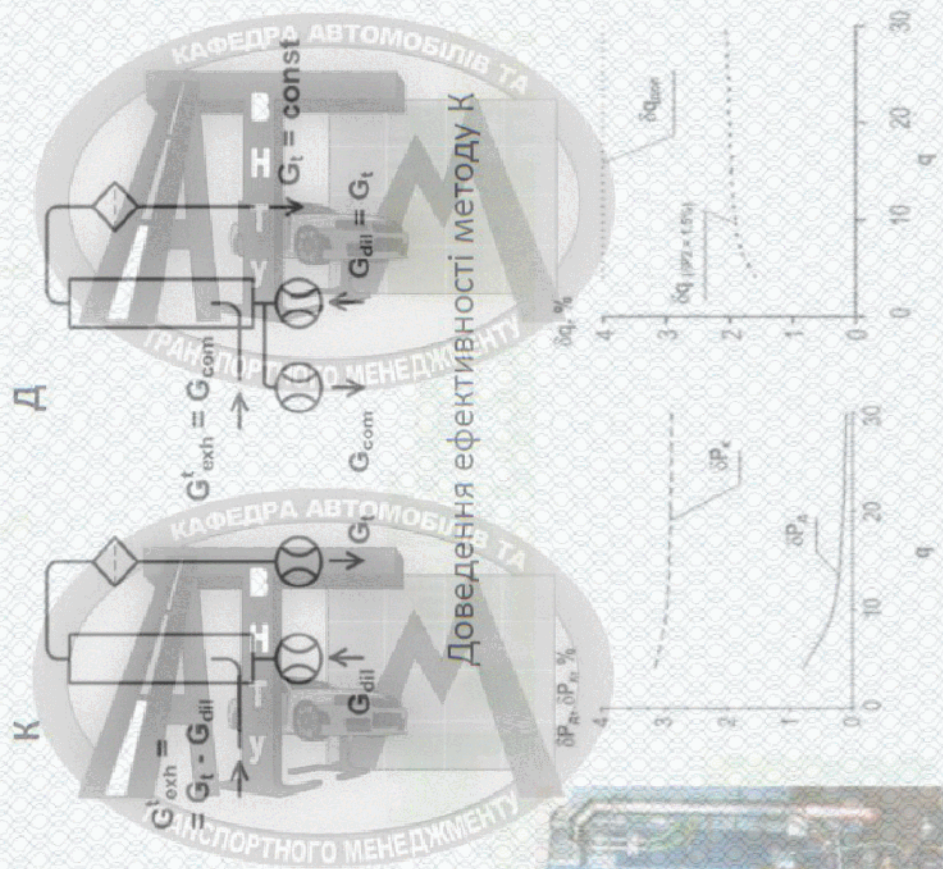
Принципова схема процесу відбору проб ВГ



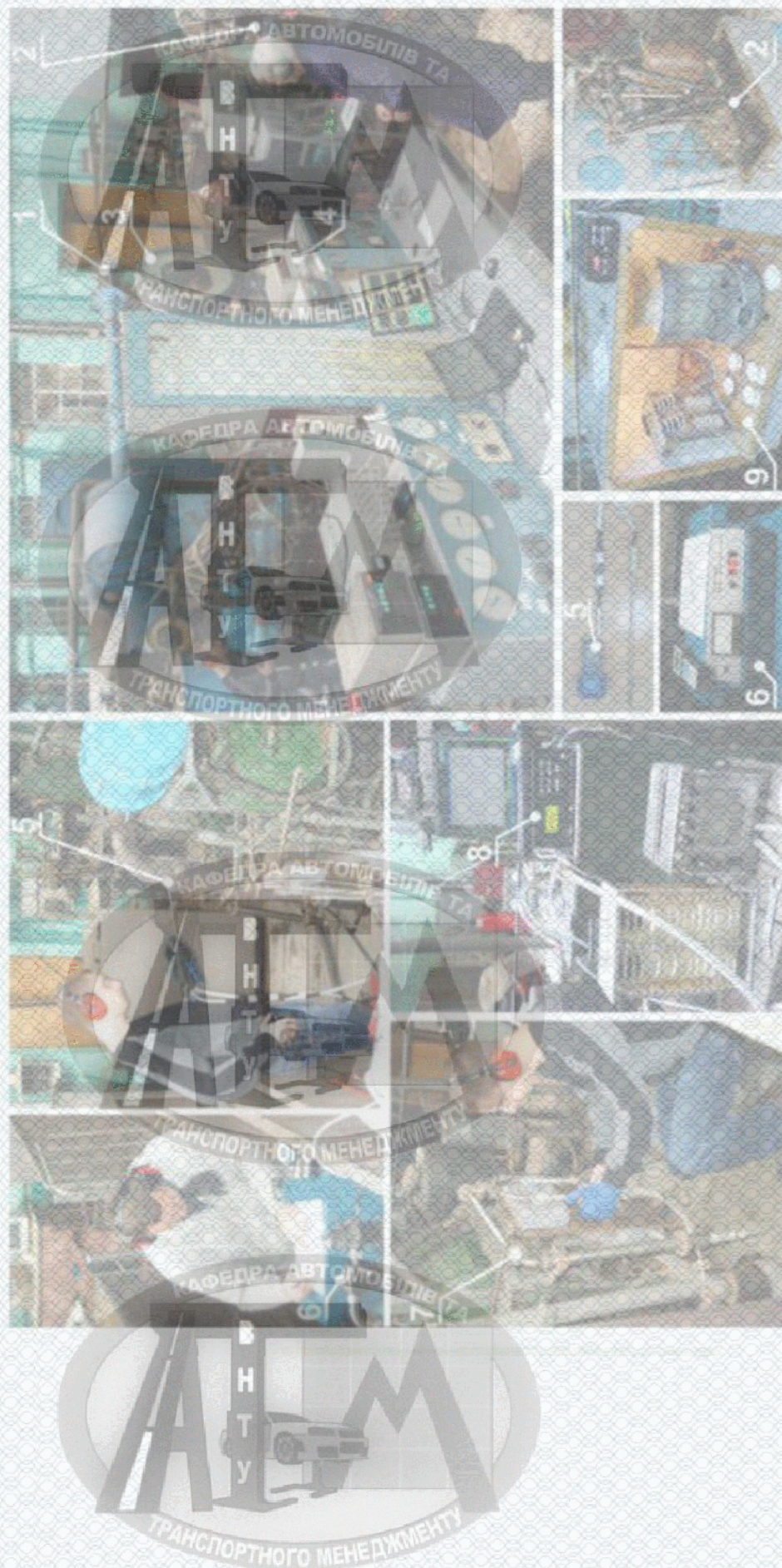
Стенд для відпрацювання методу К



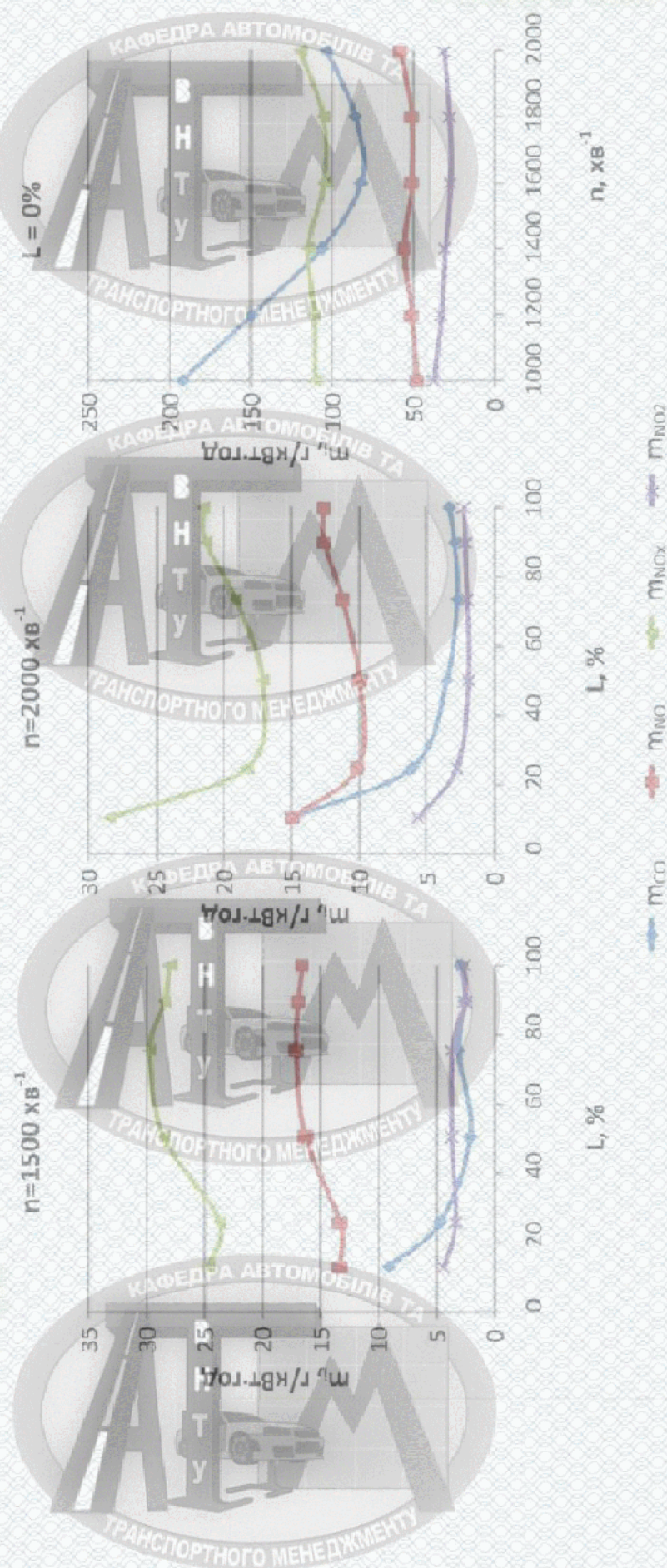
Принципові схеми методів Д і К



Відпрацювання універсальної системи екологічної
діагностики ТД на гальмівному стенді дизеля 4ЧН12/14



Результати контролю масових викидів забруднюючих речовин з ВГ на нормованих режимах випробувань



Результати контролю акустичних забруднень довкілля

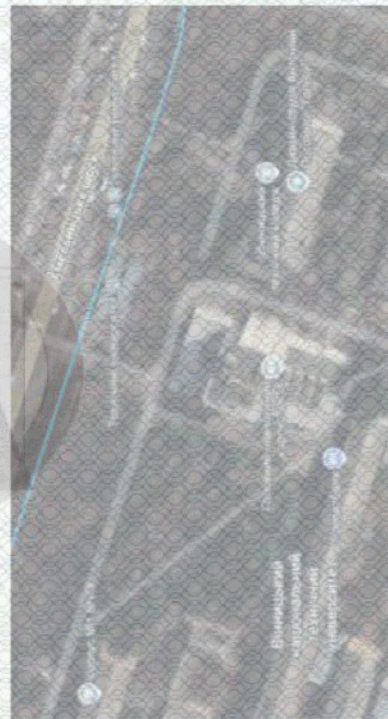
Дослідження виробничого шуму в машинному залі

Джерело шуму – дизель 4ЧН12/14

Результати досліджень



Дослідження транспортних шумів на автомагістралях міста

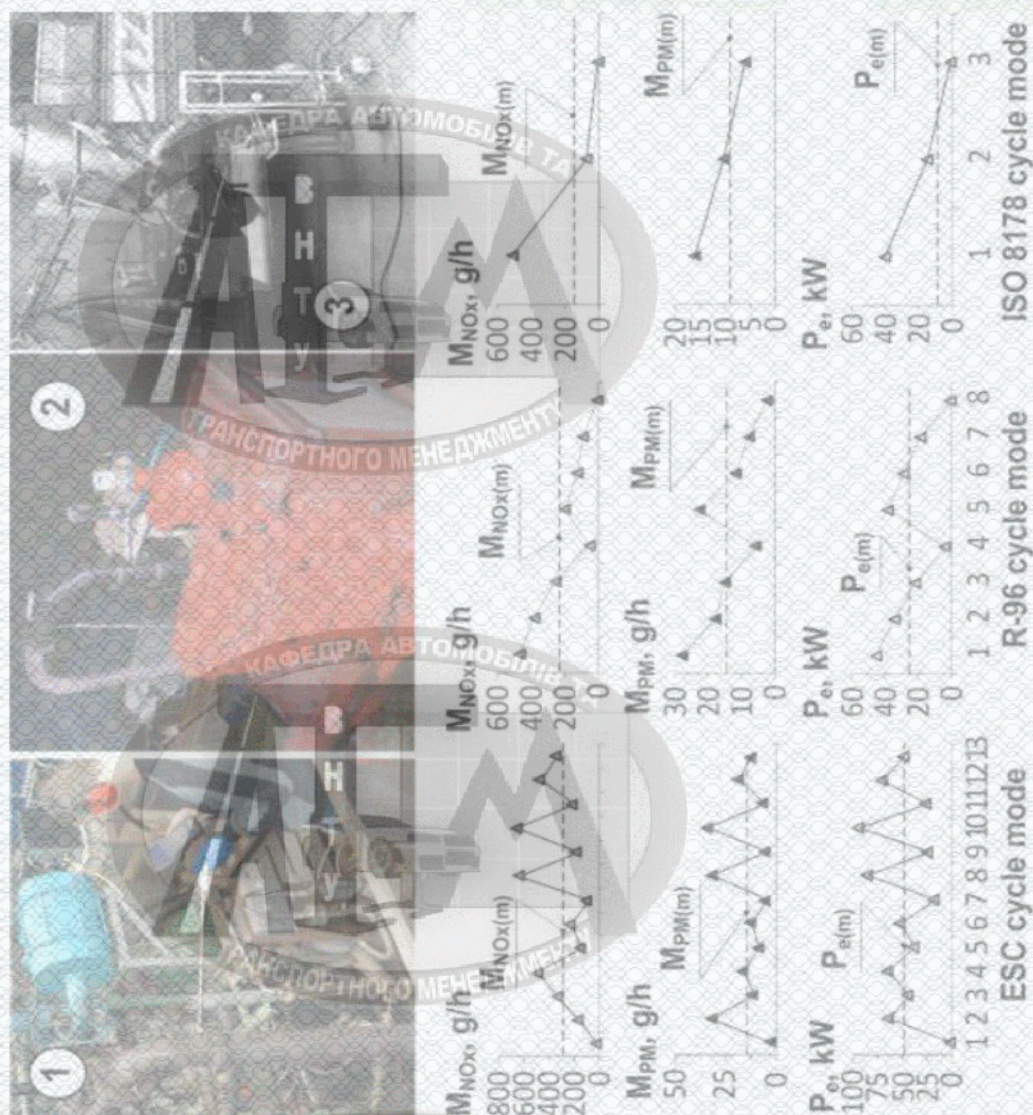


Час	Кількість ТЗ	Розрахункові методи			Фактичний рівень шуму
		1	2	3	
08-12	2430	79,79	65,21	77,19	75,6
12-16	1980	79,01	63,5	76,8	73,8
16-20	1878	78,81	64,81	76,71	74,6

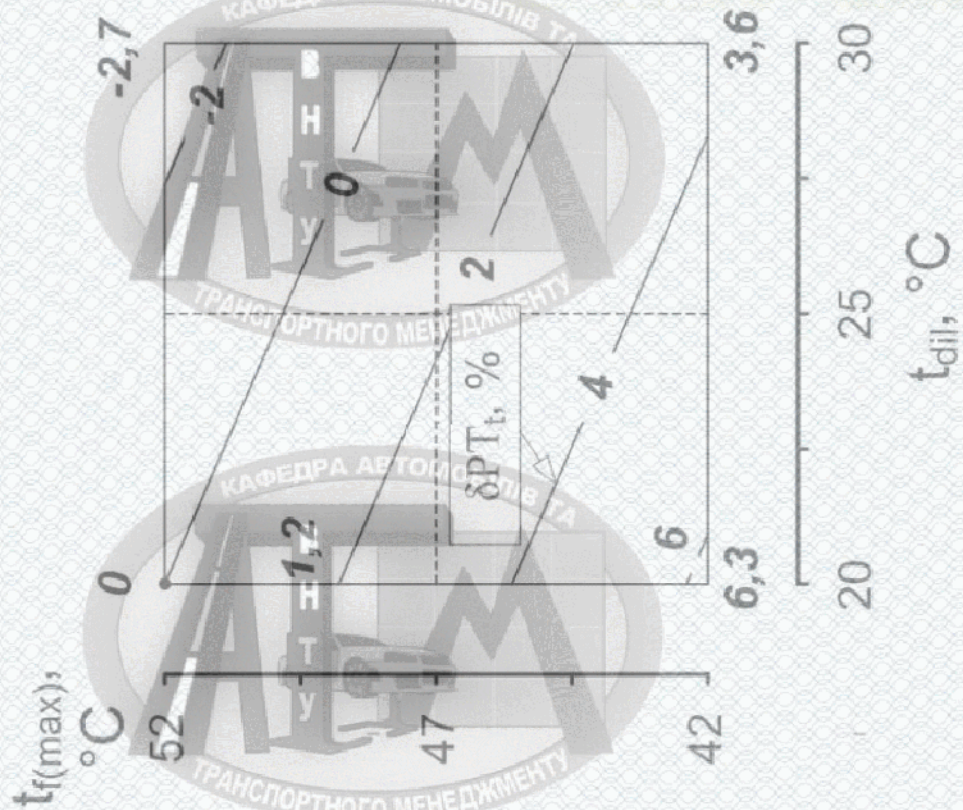
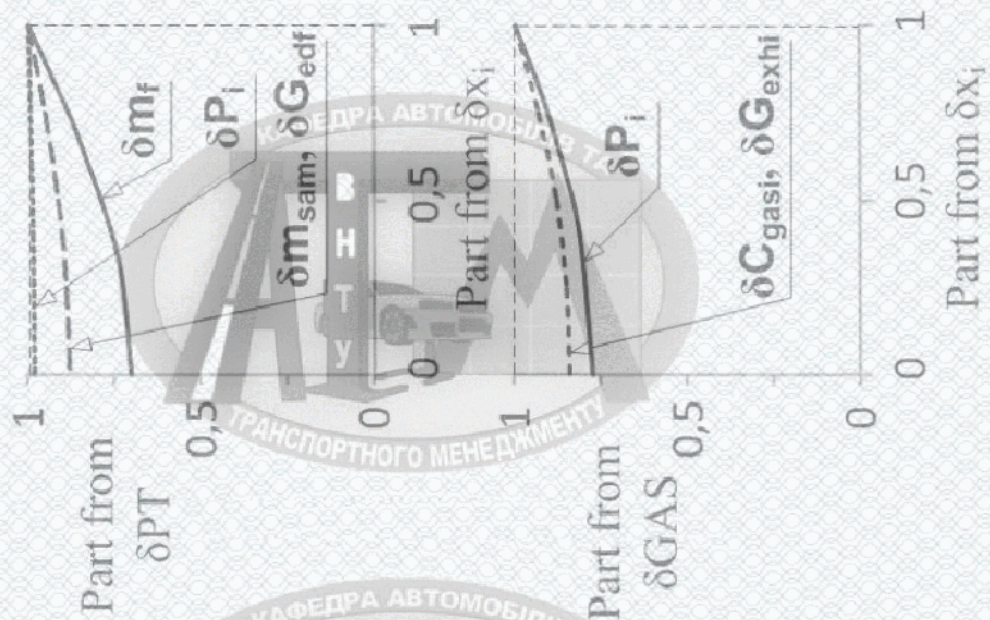
Інформаційні методи підвищення точності контролю нормованих показників токсичності ТД – GAS і PT

Величина	Визначення величини	Похибка вимірювань величини
Масовий викид газоподібних ЗР на і-му режимі, M_{gas}	$M_{gas} = u_{gas} \cdot C_{gas} \cdot G_{ech}$	$\delta M_{gas} = \sqrt{\delta C_{gas}^2 + \delta G_{ech}^2}$
Середній за цикл масовий викид газоподібних ЗР, $M_{gas(m)}$	$M_{gas(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot M_{gas})$	$\delta M_{gas(m)} = \delta M_{gas} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{M_{gas}})^2}$
Середній за цикл масовий викид ТЧ, $M_{pm(m)}$	$M_{pm(m)} = \frac{m_f}{m_{sam}} \cdot \frac{G_{edf}}{1000}$	$\delta M_{pm(m)} = \sqrt{\delta m_f^2 + \delta m_{sam}^2 + \delta G_{edf}^2}$
Середня за цикл потужність двигуна, $P_{e(m)}$	$P_{e(m)} = \sum_{i=1}^n (WF_i \cdot P_{ei})$	$\delta P_{ei} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (WF_i \cdot k_{P_{ei}})^2}$
Середньоексплуатаційний викид газоподібних ЗР, GAS	$GAS = \frac{M_{gas(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta GAS = \sqrt{\delta M_{gas(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$
Середньоексплуатаційний викид ТЧ, PT	$PT = \frac{M_{pm(m)}}{P_{e(m)}}$	$\delta PT = \sqrt{\delta M_{pm(m)}^2 + \delta P_{e(m)}^2}$

Результати відпрацювання методів підвищення точності контролю показників GAS і РТ транспортних дизелів



Результати досліджень похибок вимірювань GAS і PT



Висновки

1. Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень і розробок, які складають науково-практичну базу для підвищення універсальності мікротунелів: математичні моделі: результуючої похибки вимірювань викидів забруднюючих речовин, теплового стану газової проби в тунелі, комплексної оцінки ефективності тунеля за критеріями точності і економічності ефективності використання; макетні зразки мінітунелю МТ-1, мікротунелів МКТ-1 і МКТ-2; випробувальні стенди для досліджень теплових процесів в тунелі, ізокінетичного та компенсаційного режимів відбору проб відпрацьованих газів та ін.
2. Систематизовано вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 стандарту ISO 8178, ГСТУ 32.001-94 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників транспортних двигунів різного призначення; розглянуто принцип дії та основні елементи еталонних повнопотокових та найбільш відомих частковопотокових міні- та мікротунелів тунелів.
3. Розроблено принципову схему універсального вимірювального комплексу з мікротунелем МКТ-2 для визначення екологічних показників ТД різних типів, які характеризують негативний вплив цих об'єктів на НС: показників токсичності ВГ: концентрацій, масових, питомих і середньоексплуатаційних викидів ЗР і парникових газів – моно- і діоксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту, діоксиду сірки, ТЧ та ін.
4. Запропоновано використання замість вартісного диференційного способу визначення масової витрати проби ВГ, що потрапляє в мікротунель, альтернативного компенсаційного способу, використання якого дозволяє зменшити вимоги щодо точності витратомірів вимірювача коефіцієнта розбавлення проби – з 0,1% до 2,9 % і знизити за рахунок цього його вартість.

Висновки (продовження)

5. Створено експериментальний зразок універсальної системи екологічного діагностування ТД, відмінними властивостями якої є: багатofункціональність, компактність, мобільність, зручність у експлуатації, висока ступінь автоматизації, інформативність результатів та ін.
6. Проведено експериментальне відпрацювання універсальної системи екологічного діагностування теплових двигунів на базі моторних стендів транспортних двигунів – автотракторного дизеля 4ЧН12/14 і бензинового двигуна легкового автомобіля ВАЗ 21081. Запропоновано інформаційні методи підвищення точності створеної системи, які було відпрацьовано в ході випробувань дизелів 4ЧН12/14, Д65М і ДЕЛ-01 за циклами Правил ЄЕК ООН R-49, R-96, стандарту ISO-8178.
7. З метою підвищення економічної ефективності екологічних випробувань тепловозів запропоновано використання способу прискореного виміру нормованого показника РТ, який дозволяє зменшити витрати часу на відбір проб ТЧ: при проведенні сертифікаційних випробувань – у 3,1...4,1 рази, дослідницьких випробувань – у 5,3...7,1 рази.
8. Розроблено інноваційні способи і пристрої контролю параметрів устаткування, в результаті використання яких підвищується ефективність екологічного діагностування ТД, а саме: витратоміри, газоаналізатори, елементи арматури пневматичних та гідравлічних систем, датчики вібрацій, крутного моменту, тощо.

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення точності металів і систем охолодження двигунів внутрішнього згорання в умовах підприємства акціонерного товариства «Спеціалізований кар'єр» свід. Красноєцька Хмельницького району Хмельницької області

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота (МФР МКР)

Напрям: кафедра автомобілів та транспортного менеджменту (КАТМ) (кафедра) (автомобілі)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність: 71% Схожість: 29%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не мають ознак плагиату
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагиату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення оформлені некоректно і мають ознаки плагиату, або в ній містяться надмісні створення тексту, що вказує на спроби приховування недобросовісних запозичень

Особа, відповідальна за перевірку

Цимбал О.В.
професор, доцент

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи

Рідав С.Р.
професор, доцент

Керівник роботи

Поліш Анатолій А.О.
професор, доцент