

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

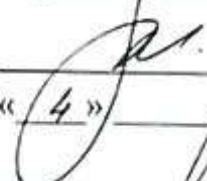
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:

Підвищення ефективності інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин автомобілями на базі ТОВ «Іванівський кар'єр»

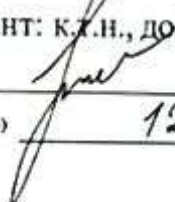
Виконав: студент 2-го курсу, групи 2АТ-22м
спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

 Ткачук Я.Ю.

Керівник: д.т.н., професор каф. АТМ


 Полив'янчук А.П.
« 4 » 12 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент Сухоруков С.І.

 Сухоруков С.І.
« 15 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

 Цимбал С.В.
« 15 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

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

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

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

« 09 » 12 / 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ткачук Ярослав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин автомобілями на базі тов «Іванівський кар'єр»
керівник роботи Полів'яничук Андрій Павлович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від «18» вересня 2023 року № 247.
2. Строк подання студентом роботи: 04.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу літературних джерел за темою досліджень, вимоги нормативних документів до технологій контролю показників токсичності відпрацьованих газів автомобілів та автомобільних ДВЗ; законодавство України в галузі екології транспорту і охорони праці; предмет дослідження: інноваційні методи контролю екологічних показників автомобілів.
4. Зміст текстової частини:
 - 1 Аналіз методології та технічного оснащення екологічних випробувань ДВЗ
 - 2 Математичне моделювання процесу екологічного діагностування автомобільних ДВЗ
 - 3 Експериментальна установка для досліджень технологій екологічного діагностування автомобільних ДВЗ - мікротунель МКТ-2
 - 4 Розробка та дослідження інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин з вг автомобільних ДВЗ
 - 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 1 Мета та завдання дослідження.
 - 2 Екологічна характеристика базового підприємства – тов «Іванівський кар'єр»
 - 3 Характеристика негативного впливу міського автотранспорту на навколишнє середовище
 - 4-6 Нормовані показники, методи та засоби екологічної діагностики автомобілів
 - 7 Принципова схема ізокінетичного пробовідбірника системи діагностики – мінітунеля
 - 8 Аналіз відомих технічних рішень забезпечення ізокінетичного режиму відбору проби в мінітунелях

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи
ст. гр. 2АТ-22м Ткачука Ярослава Юрійовича
на тему: **Підвищення ефективності інноваційних методів контролю
викидів шкідливих речовин автомобілями на базі тов «Іванівський кар'єр»**

Магістерська кваліфікаційна робота Ткачука Я.Ю. присвячена впровадженню інноваційних технологій в системах екологічного діагностування автомобілів. Актуальність роботи обумовлена високою значимістю досліджуваної проблеми підвищення екологічної безпеки автомобільного транспорту. Робота складається зі вступу, 5-ти основних розділів, висновків і додатків, оформлена якісно, відповідає вимогам до магістерських кваліфікаційних робіт.

Зміст кваліфікаційної роботи повністю відповідає темі та завданню, це повною мірою відображено в графічному матеріалі та пояснювальній записці.

В процесі виконання кваліфікаційної роботи студент провів комплекс досліджень: проаналізував організаційні, методологічні та технічні заходи з екологізації автомобільних двигунів; систематизував вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 та стандарту ISO 8178 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників автомобілів; провів на базі автомобільного дизеля 4ЧН12/14 розрахункові дослідження ефективності використання ізокінетичного пробовідбірника для системи екологічної діагностики – мінітунеля; обґрунтував доцільність використання компенсаційного методу відбору проби відпрацьованих газів з вихлопної труби двигуна.

Зауваження до роботи: бажано було б оцінити ефективність розроблених методів контролю викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами вітчизняних легкових автомобілів.

Незважаючи на зауваження, тема магістерської кваліфікаційної роботи повністю розкрита, робота є закінченою, має значну практичну цінність та актуальність, заслуговує на оцінку "С", а її автор Ткачук Я.Ю. – має відповідний вимогам державних стандартів рівень підготовки та заслуговує присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю 274 - «Автомобільний транспорт».

Керівник МКР,
д. т. н., професор каф. АТМ



Андрій ПОЛИВ'ЯНЧУК

ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу

студента групи 2АТ-22м Ткачука Ярослава Юрійовича
на тему: Підвищення ефективності інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин автомобілями на базі тов «Іванівський кар'єр»

Актуальність теми магістерської роботи. Проблема, дослідженню якої присвячено роботу, – удосконалення систем контролю екологічних показників автомобілів та автомобільних двигунів є актуальною.

Аналіз змісту роботи.

В 1-му розділі проаналізовано технології контролю викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів. В 2-му розроблено комплексну математичну модель процесу екологічного діагностування автомобіля. В 3-му представлено експериментальну установку для досліджень екологічних показників автомобільних двигунів. В 4-му досліджено інформаційні методи контролю токсичності відпрацьованих газів. В 5-му розглянуті питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Зауваження: бажано було б порівняти показники ефективності запропонованого ізокінетичного пробовідбірника для системи екологічної діагностики автомобіля з показниками відомих аналогів.

Представлена МКР відповідає темі та завданню. За актуальністю, новизною та обсягом виконаних досліджень робота відповідає вимогам щодо виконання магістерських робіт, її автор **Ткачук Я.Ю.** заслуговує на присвоєння кваліфікації магістра за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт з оцінкою «С».

Опонент к.т.н., доцент каф. ТАМ



Сухолюков С.І.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.43.068

Ткачук Я.Ю. Підвищення ефективності інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин автомобілями на базі ТОВ «Іванівський кар'єр». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 –Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2023. 105 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 22 назви; рис.: 36; табл. 14.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та експериментально відпрацьовано на безмоторному і моторному випробувальних стендах інноваційні методи та засоби підвищення ефективності систем екологічного діагностування автомобілів і автомобільних двигунів. Досліджено організаційні, методологічні та технічні заходи з екологізації автомобільних двигунів. Систематизовано вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 та стандарту ISO 8178 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників автомобілів; розглянуто принцип дії та основні елементи систем екологічного діагностування автомобілів - мінітунелів. На базі автомобільного дизеля 4ЧН12/14 проведено розрахункові дослідження ефективності використання ізокінетичного пробовідбірника для системи екологічної діагностики – мінітунеля та обґрунтовано доцільність використання компенсаційного методу відпрацьованих газів з вихлопної труби двигуна.

Графічна частина складається з 12 слайдів.

Ключові слова: автомобіль, дизельний двигун, відпрацьовані гази, екологічна діагностика, ізокінетичний пробовідбірник.

ABSTRACT

UDC 629.43.068

Tkachuk Y.Yu. Increasing the effectiveness of innovative methods of controlling the emissions of harmful substances by cars based on "Ivanivsky Karier" LLC. Master's qualification work on specialty 274 - Road transport, educational program - Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2023. 105 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 22 titles; Fig.: 36; table 14.

In the master's qualification work, innovative methods and means of increasing the efficiency of environmental diagnostics systems of cars and car engines were developed and experimentally worked out on non-motorized and motorized test stands. Organizational, methodological and technical measures for environmental protection of automobile engines were studied. Systematized the requirements of international regulatory documents - UNECE Rules R-49, R-83, R-96 and ISO 8178 standard for equipment, test procedures, methods of determining environmental performance of cars; the principle of action and the main elements of the systems of environmental diagnostics of cars - minitunnels are considered. On the basis of the 4CHN12/14 diesel engine, calculation studies of the effectiveness of the use of an isokinetic sampler for the minitunnel environmental diagnostics system were carried out, and the expediency of using the exhaust gas compensation method from the engine exhaust pipe was substantiated.

The graphic part consists of 12 slides.

Key words: automobile, diesel engine, exhaust gases, environmental diagnostics, isokinetic sampler.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ	11
1.1 Екологічна характеристика базового підприємства – ТОВ «Іванівський кар’єр»	11
1.2 Основні характеристики токсичності автомобільних ДВЗ	12
1.3 Технології вимірювання показників токсичності ДВЗ.....	15
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ	31
2.1 Комплексна математична модель процесу контролю викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ.....	31
2.2 Математичні моделі процесів охолодження розбавлених ВГ та формування складових ефективності екологічних випробувань ДВЗ	32
2.3 Практична цінність комплексної математичної моделі	41
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЙ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ - МІКРОТУНЕЛЬ МКТ-2	43
3.1 Структура вимірювального комплексу з мікротунелем	43
3.2 Принцип дії, елементи конструкції та показники ефективності мікротунеля МКТ-2.....	48
3.3 Камера для стабілізації та зважування фільтрів	52
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ВГ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ	55
4.1 Розробка та дослідження компенсаційного способу вимірювань масової витрати проби ВГ	55
4.2 Розробка та дослідження ізокінетичного пробовідбірника ВГ для системи екологічної діагностики ДВЗ	71

4.3 Експериментальне відпрацювання мікротунеля МКТ-2 на гальмівному стенді автомобільного дизеля 4ЧН12/14.....	73
--	----

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
--	-----------

5.1 Загальні питання охорони праці. Шкідливі і небезпечні виробничі чинники, їх класифікація	78
--	----

5.2 Промислова санітарія	80
--------------------------------	----

5.3 Електробезпека. Пожежна безпека. Охорона навколишнього середовища	84
---	----

ВИСНОВКИ	86
-----------------------	-----------

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
--	-----------

ДОДАТОК А.....	90
-----------------------	-----------

ДОДАТОК Б.....	104
-----------------------	------------

ВСТУП

Актуальність теми. Введення в дію стандартів EURO викликало застосування нових технологій, таких як: створення малотоксичних дизелів, застосування сажових фільтрів та каталітичних нейтралізаторів, що забезпечує значне зниження викидів газоподібних забруднюючих речовин та твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ) автомобільних двигунів. Але при цьому виникли проблеми з об'єктивністю оцінки цих викидів існуючими методами, заснованим на оптичних та гравіметричних вимірах. Зокрема, двигуни, обладнані фільтром сажі, мають такі низькі рівні викидів ТЧ, що гравіметричний аналіз проб здійснюється на рівні межі вимірювання. Похибка визначення викидів при цьому досягає таких значень, які позбавляють будь-якого сенсу всю процедуру тестування двигуна за даним параметром. Тому виникли нові вимоги до процедури оцінки викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ. Перспективні методи повинні володіти високою чутливістю і точністю при дуже низьких концентраціях поллютантів і високою швидкістю (високою роздільною здатністю за часом), що дозволяє проводити безперервні вимірювання в ході випробувань за найбільш динамічними циклами. До таких циклів відносяться: European Transient Cycle (ETC), Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC), Worldwide heavy-duty transient cycle (WHTC), ін. [1–3].

На сучасному етапі найбільш ефективними динамічними методами вимірювань масових викидів дизельних ТЧ являються: 1) Method for Real-Time Mass Microbalances – метод, оснований на контролі зміни частоти коливань чуттєвого елемента (мікроваг), на яких осідають частинки; 2) Laser Induced Incandescence - метод вимірювання за допомогою індукованого лазером розжарювання частинок. Межа детектування концентрації частинок, яка вимірюється, для вказаних методів складає $0,002 \text{ мг/м}^3$ при діапазоні значень, що визначаються – $0,25 \dots 1,25 \text{ мг/м}^3$ (для викидів ТЧ, які відповідають вимогам сучасних норм EURO) [6–8]. Названі динамічні методи вимірювань та

обладнання для їх використання являються високотехнологічними та вартісними. Даною роботою передбачається удосконалення систем екологічної діагностики автомобільних ДВЗ 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:* удосконалення технологій екологічного діагностування автомобілів шляхом підвищення ефективності інноваційних методів та засобів інструментального контролю нормованих показників – викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами: CO, CH, NO_x та твердих частинок.

Завдання роботи:

- 1) аналіз факторів негативного впливу відпрацьованих газів автомобілів та автомобільних двигунів на навколишнє середовище.
- 2) дослідження організаційних, методологічних та технічних заходів з екологізації автомобільних двигунів.
- 3) аналіз технологій екологічного діагностування автомобілів за нормованими показниками токсичності відпрацьованих газів.
- 4) розробка методики підвищення ефективності інноваційних систем екологічного діагностування автомобільних дизелів – мінітунелей з ізокінетичним пробовідбірником.
- 5) розробка рекомендацій щодо забезпечення точності ізокінетичного методу відбору проби при випробуваннях дизелів на гальмівних стендах.

Проблема, що розглядається: зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Об’єкт дослідження: процеси нормування та діагностування викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільних двигунів.

Предмет дослідження: інноваційні методи контролю нормованих екологічних показників автомобілів – питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна.

Новизна одержаних результатів.

Вперше теоретично обґрунтовано доцільність використання у частковопоточних тунелях компенсаційного способу визначення масової витрати ВГ, які поступають в тунель, замість найбільш розповсюдженого диференційного способу (використовується у мікротунелі AVL SPC 472), що дозволяє більш ніж у 15 разів збільшити допустимі похибки витратомірів вимірювача коефіцієнту розбавлення ВГ та у 5...8 разів зменшити його вартість.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблено методикау визначення викидів ТЧ з ВГ автомобільних дизелів з мінімальними витратами часу на відбір проб ТЧ, яка забезпечує потрібну точність і дозволяє скоротити тривалість та вартість екологічних випробувань ДВЗ, що особливо актуально при випробуваннях вантажних автомобілів.

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

Апробація результатів роботи на наукових конференціях. Основні положення магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на Міжнародні науково-практичні інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2023 р.) [22]

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

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ДВЗ

1.1 Екологічна характеристика базового підприємства – ТОВ «Іванівський кар'єр»

ТОВ «Іванівський кар'єр» спеціалізується на добуванні будівельного та декоративного каменю, піску, гравію, а також на виробництві щебеневої продукції (рис. 1.1). Кілька років тому видуботок припинили, але сьогодні техніка знову працює. В останні роки дно кар'єру поступово заповнює вода, але її кількості не вистачає, щоб утворилося чергове блакитне озеро, як у Черепашинцях. До гігантської чаші веде асфальтна дорога, від Вінниці - це близько 40 кілометрів житомирською трасою.



Рисунок 1.1 – Розташування та загальний вигляд виробничих ділянок базового підприємства

Іванівський граніт «Imperator» – головні особливості і гідності. «Imperator» представляє собою натуральний камінь темно-зеленого кольору. За насичені і красиві відтінки його заслужено називають імператором зелених гранітів. Вироби з матеріалу з Іванівського родовища широко затребувані в ландшафтному дизайні, житловому і дорожньому будівництві.

Головними перевагами граніту «Imperator» є: екологічна чистота (1 клас природної радіації); висока міцність; насичений і рівномірний колір; висока зносостійкість; гарний естетичний вигляд; довговічність.

«Imperator» вважається однією з найбільш твердих і міцних порід граніту, тому виробам з нього не страшні механічні дії. Структура каменю не вбирає бруд, пил, не вигоряє на сонці і не тьмяніє з часом. Крім того, граніт що видобувається в Іванівському кар'єрі «Imperator» легко витримує будь-які температури: спеку, суворі морози і екстремальні перепади в міжсезоння.

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

1.2 Основні характеристики токсичності автомобільних ДВЗ

Розглянемо характеристики токсичності двигунів з врахуванням їхнього зв'язку з конструктивними параметрами, показниками робочих процесів, особливостями експлуатації ДВЗ тощо.

Токсичність бензинових двигунів. Перебіг процесу згоряння палива у бензинових двигунах обумовлює специфічний склад продуктів згоряння, в тому числі [1]: а) продукти повного згоряння - діоксид вуглецю CO_2 та вода H_2O ; б) продукти неповного згоряння - неспалені вуглеводні СН (парафіни, олефіни, ароматичні вуглеводні та ін.); неповністю спалені вуглеводні (монооксид вуглецю CO , альдегіди $\text{CH}\cdot\text{C}\cdot\text{HO}$, кетони $\text{CH}\cdot\text{CO}$, карболова кислота $\text{CH}\cdot\text{COOH}$ та ін.); продукти термічного розкладення та їхні похідні: C_2H_2 , C_2H_4 , H_2 (водень, ацетилен, етилен та ін.), С (сажа), поліциклічні

вуглеводні; в) побічні продукти згоряння - із атмосферного азоту (оксиди азоту NO та NO_2 та ін.); із паливних домішок (оксиди свинцю, галогеніди свинцю); із забруднювачів палива (оксиди сірки); г) продукти із забруднювачів повітря разом з продуктами неповного згоряння (тверді частинки (ТЧ), що містять твердий вуглець, абразиви та ін.).

Проаналізуємо результати випробувань легкових автомобілів з бензиновими двигунами типу ЗМЗ (Україна) на стенді з біговими барабанами за європейським їздовим циклом. Для оцінки екологічної небезпеки викидів ВГ використаємо наступні параметри:

- *рівень забруднення атмосферного повітря кожним з токсичних компонентів ВГ – Z_i* , який дорівнює відношенню маси шкідливої речовини, що викидається автомобілем за їздовий цикл, до добутку втрати ВГ на ГДК i -ї токсичної речовини;

- *відносний (у відсотках) рівень забруднення повітря z_i* , що являє собою відношення Z_i до суми рівнів забруднення атмосфери всім комплексом i -х токсидів автомобіля;

- *показник відносної екологічної шкідливості Φ_i* , що являє собою відношення суми рівнів забруднення атмосферного повітря всіма виміряними токсидами до суми рівнів забруднення повітря базовим різновидом автомобіля або різновидом автомобіля, що має найбільші викиди токсидів.

Аналіз екологіо-хімічної шкідливості бензинових двигунів, що розглядаються, за зазначеними показниками (табл. 1.1, рис. 1.2) свідчить про наступне: максимальні відносні рівні забруднення атмосферного повітря визначає NO_x - 75,5 % та 79,5 %; друге місце у забрудненні зайняв БП – 17 % та 13,6%; відносні рівні забруднення повітря токсидами CO та C_nH_m незначні, і це характерно для більшості бензинових ДВЗ.

Токсичність дизельних двигунів. Аналіз складу ВГ дизелів [1] свідчить про суттєвий вплив навантаження двигуна на токсичність викидів токсидів – у середньому вони змінюються у 3...10 разів.

Таблиця 1.1 - Показники абсолютних, сумарних та відносних рівнів забруднення повітря викидами токсидів ВГ

№п/п	Чисельники - Σz_i ; знаменники - z_i				Σz_i
	СО	СН	NO _x	БП	
1	1405 / 4,3	944 / 3,0	24615 / 75,7	5538 / 17,0	35502
2	1015 / 3,5	995 / 3,4	23077 / 79,5	3923 / 13,6	29010
3	549 / 3,8	810 / 5,7	12308 / 85,7	615 / 4,8	14282
4	349 / 3,1	862 / 7,7	9486 / 84,7	508 / 4,5	11206
5	164 / 0,7	431 / 1,7	24103 / 96,9	169 / 0,7	24867
6	103 / 1,3	154 / 1,9	7692 / 95,3	123 / 1,5	8072
7	36 / 0,3	246 / 2,4	10000 / 96,2	108 / 1,1	10390
8	58 / 3,5	92 / 6,5	769 / 56	446 / 34	1365

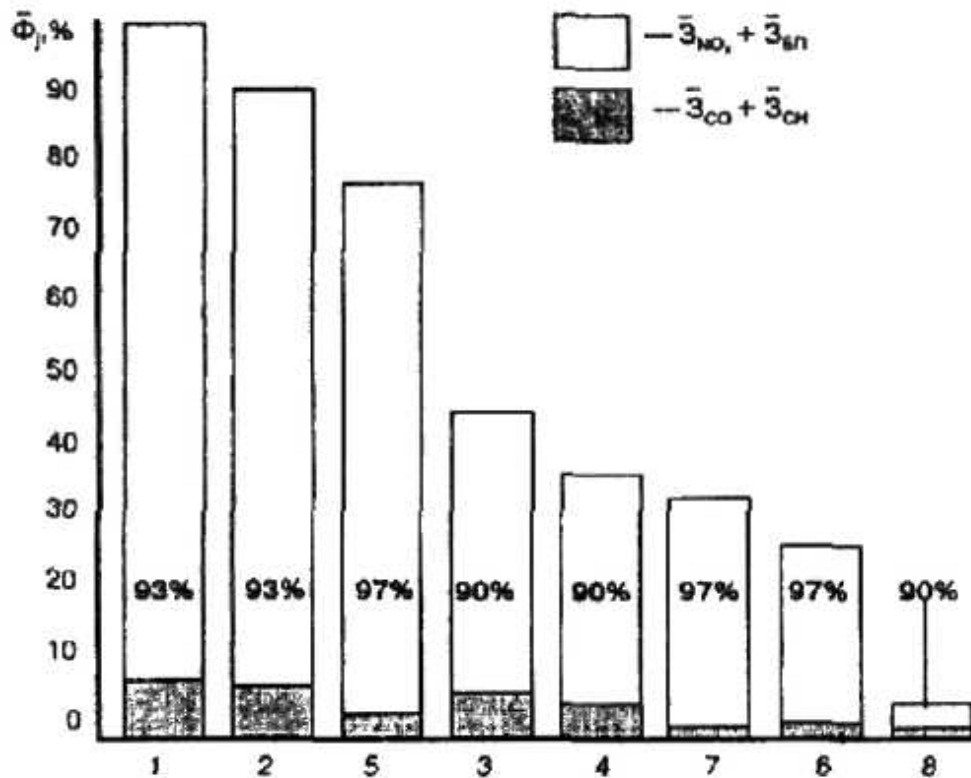


Рисунок 1.2 – Показники відносної еколого-хімічної шкідливості автомобілів з бензиновими ДВЗ

Найбільше змінюються рівні викидів оксидів азоту (майже у 10 разів). Обробка результатів стендових екодосліджень автомобільного дизеля КрАЗ-6322 [2], яка проводилась з врахуванням агресивності токсичних речовин, засвідчує, що ступінь забруднення атмосфери ВГ дизеля на 98% складається із викидів оксидів азоту та ТЧ (при цих дослідженнях не враховувались БП та оксиди сірки).

Слід зазначити, що згідно Європейського законодавства найбільш важливими шкідливими речовинами, що містяться у ВГ ДВЗ являються: для бензинових двигунів – три газоподібні речовини NO_x , та CO CH , для дизелів – чотири речовини: газоподібні NO_x , CO , CH , а також ТЧ [3].

1.3 Вимірювання показників токсичності ДВЗ

При визначенні шкідливих речовин з ВГ та димності застосовуються два методичних підходи [4]:

а) випробування двигунів у складі автомобіля на бігових барабанах – застосовуються для легкових автомобілів, легкових вантажівок з повною масою до 3,5 т та мікроавтобусів (рис. 1.3);

б) випробування ДВЗ на моторному сенді - застосовуються для двигунів вантажних автомобілів з повною масою більшою, ніж 3,5 т, тепловозних, таркорних, судових та ін. дизелів (рис. 1.4).

При цьому існують два принципово різних метода випробувань (як таких, що охоплюють застосування бігових апаратів, так і таких, що базуються на моторних стендах):

1) випробування на усталених режимах; вимірювання проводяться в умовах постійності швидкісного та навантажувального режимів (кількість таких режимів різниться у різних стандартах);

2) випробування на неусталених режимах (при перехідних процесах), коли випробування проводять під час зміни навантаження та/або швидкісного ре-жиму. Один з таких режимів, коли змінюють частоту обертання

колінчастого вала ДВЗ від мінімальних до максимальних обертів холостого ходу, називається режимом вільного прискорення.

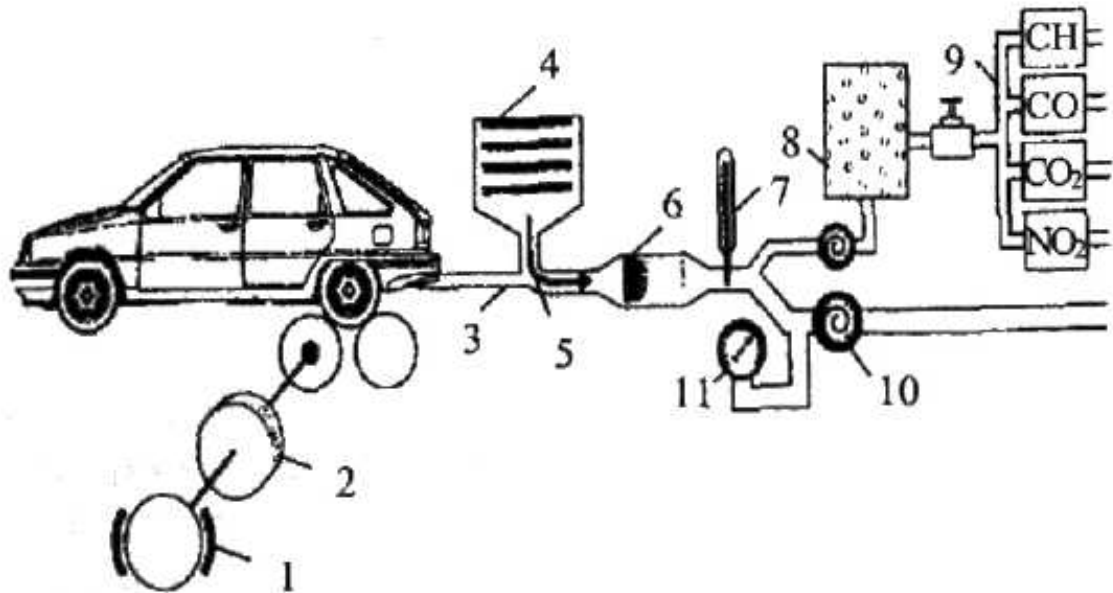


Рисунок 1.3 - Приклад випробувань транспортного заходу з ДВЗ щодо оцінки його екологічного рівня на бігових барабанах:

1 - гальмо; 2 - маховик; 3 - вихлопна труба; 4 - повітряний фільтр; 5 - підведення додаткового (розбавляючого) повітря; 6 - охолоджувач; 7 - датчик температури; 8 - ресивер; 9 - газовідбірні тракти; 10 - компресор; 11 - датчик тиску.

Випробувальні стенди для проведення екологічного діагностування двигунів. Специфіка ековипробувань ДВЗ на бігових барабанах. Такі випробування проводяться за їздовими циклами, які імітують режими роботи ДВЗ в умовах реальної експлуатації. При цьому використовуються два різних підходи до подібних випробувань:

- у США розроблені їздові цикли, максимально наближені до умов експлуатації (цикл FTP-75);

- у Європі та Японії застосовують цикли, за основу яких беруть окремі відрізки руху з постійними значеннями швидкості.

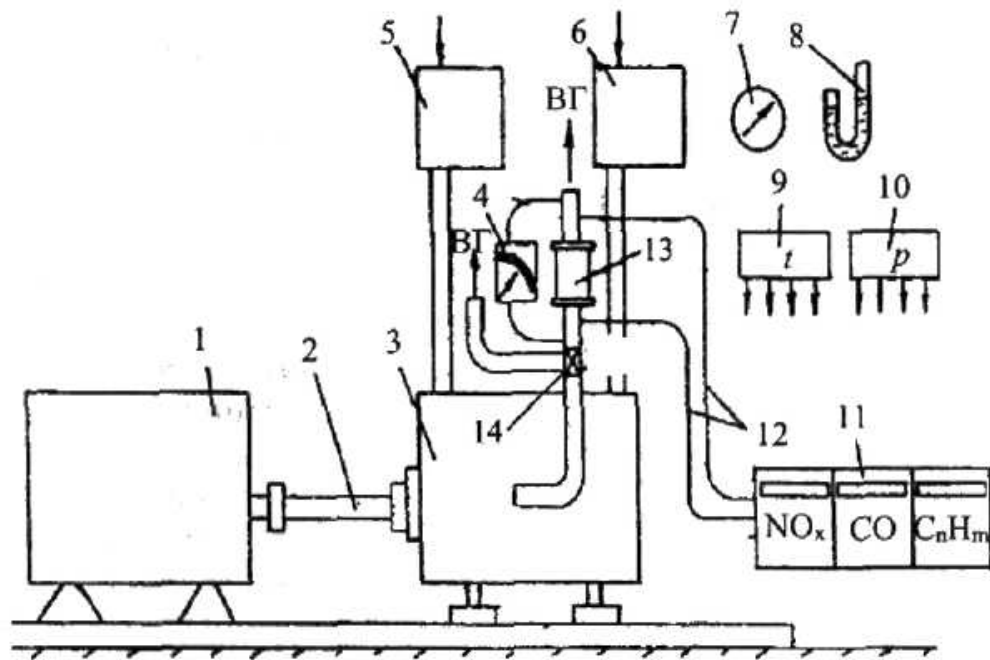


Рисунок 1.4 - Приклад установки для вимірювань екологічних характеристик ДВЗ на моторному стенді:

1 - гальмуючий пристрій; 2 - карданний вал; 3 - двигун; 4 - димомір; 5 - витратомір палива; 6 - витратомір повітря; 7 - барометр; 8 - психрометр; 9 - датчики вимірювання температур; 10 - датчики вимірювання тисків; 11 - газоаналізатор; 12 - газопатрубки; 13 — нейтралізатор ВГ; 14 - електромагнітний клапан.

Вимірювання кількості викидів шкідливих речовин здійснюється постійно протягом всього циклу випробувань (так звана система постійного відбирання проб – CVS (Constant Volume Sample), після чого виконується перерахунок маси викидів, що були визначені, на одиницю пройденого шляху (г/км) або за весь цикл (г/випробування - г/випр.).

Так, наприклад, цикл, який застосовується у Європі (за Правилами ЄЕК ООН 15/5) складається із двох складових: міського циклу (4 цикли підряд) та швидкісного циклу. Автомобіль «починає рух» на бігових барабанах після запуску непрогрітого (холодного) двигуна та його прогріву на холостому ході впродовж 40 с (рис. 1.5).

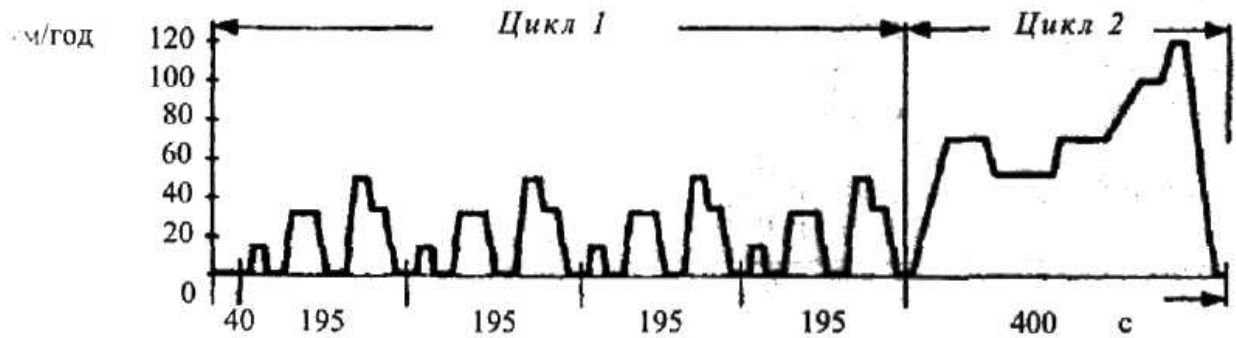


Рисунок 1.5 - Європейський їздовий цикл ЄСЕ K15/05

Характеристики цього загального циклу:

міська зона:

- повний термін часу циклу, с.....821
- протяжність циклу, км.....4,052
- середня швидкість автомобіля, км/ГОД..... 18,"
- максимальна швидкість автомобіля, км/ГОД.....\$(
- частка холостого ходу, %.....3!

швидкісна зона:

- повний термін часу циклу, с.....1220
- протяжність циклу, км.....11,007
- середня швидкість автомобіля, км/ГОД.....32,5
- те ж, але без урахування холостого ходу, км/ГОД.....44,0
- максимальна швидкість автомобіля, км/ГОД.....120
- частка холостого ходу, %.....26,2

У США використовують цикл РТР-75 (рис. 1.6), який відрізняється більш різними змінами навантажень та швидкістю руху.

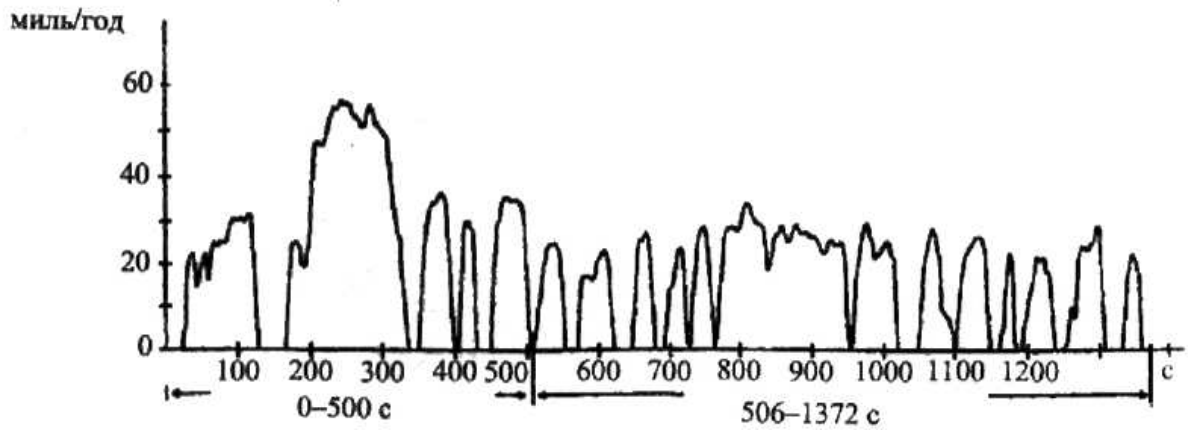


Рисунок 1.6 - Їздовий цикл FTP-75(США)

Характеристики циклу РТР-75:

- повний термін випробувань, с.....247'
- протяжність циклу, км.....17,8"
- середня швидкість автомобіля, км/год.....31,6'
- те ж, але без урахування холостого ходу, км/год.....38,5
- максимальна швидкість автомобіля, км/год.....91,1
- частка холостого ходу, %.....17л

Такий цикл складається із трьох ділянок: а) робота непрогрітого двигуна на перемінних режимах з різкими змінам швидкостей та навантажень (перші 505 с); б) відносно стабільніші режими (506-1372 с); по закінченні цієї ділянки передбачена зупинка автомобіля (протягом 600 с) з відключенням стендового вентилятора обдуву автомобіля повітрям та відкриттям капоту; в) повторення першої ділянки, але вже з прогрітим двигуном (1373-1877).

Особливості ековипробувань на моторному стенді. Екологічні рівні різних об'єктів можуть бути зіставленні тільки за умови, що вони визначені при випробуваннях за одним і тим же стандартом. Основною причиною незіставлення можуть стати відміни режимів випробувань (сполучень швидкісних та навантажених режимів) і методик розрахунків. Джерелом викидів шкідливих речовин є ДВЗ, а не силова установка, тому для оцінок викидів токсинів при роботі останньої достатньо ековипробувань саме

двигуна, хоча треба врахувати, що при стендових випробуваннях будуть похибки у призначенні режимів, які не збігатимуться з експлуатаційними.

Основний вид випробувань ДВЗ на моторному стенді при визначенні вилів токсидів з ВГ - це випробування за циклами навантажень, що складаються із декількох усталених режимів; при оцінках димності ВГ застосовуються виробування ще й при перехідних процесах.

Номінальний швидкісний режим (Rated speed) - це заявлене розробником (виробником) двигуна значення частоти обертання колінчастого вала, при якій забезпечується номінальна (нетто) та експлуатаційна (брутто) потужності. Номінальна потужність - це така, що призначена підприємством-виробником, відповідає повній паливоподачі при стандартних атмосферних умовах при випробуванні двигуна в комплектації без вентилятора, повітроочишувача, глушника шуму випуску, нейтралізатора, а також без обладнання, яке забирає потужність двигуна, але не обслуговує його. Експлуатаційна потужність така ж сама, але в комплектації з усіма вищезгаданими агрегатами, крім допоміжних, що забирають потужність двигуна, але не обслуговують його.

Проміжний швидкісний режим (Intermediate speed) - це частота обертання колінчастого вала ДВЗ, що відповідає режиму максимального крутного моменту, якщо даний режим лежить у діапазоні частоти обертання колінчастого вала 60...75 % від номінальної частоти обертання колінчастого вала або дорівнює 60 % від номіналу (якщо даний режим менший 60 % від номіналу), чи дорівнює 75 % від номіналу (якщо даний режим вищий 75 % номінальної частоти). У деяких стандартах (наприклад, у Правилах ЄЕК ООН № 96), якщо даний режим виходить за межі вказаного діапазону, швидкісний режим приймається рівним 60 % від номіналу.

Максимальний крутний момент (Maximum torque) - найбільше значення крутного моменту двигуна при його роботі за зовнішньою швидкісною (регуляторною) характеристикою.

Процедури екологічних випробувань ДВЗ. Сучасні стандарти передбачають оцінку екологічних якостей автомобіля по викиду шкідливих

речовин на режимах роботи, відповідних умовам його міського, заміського і магістрального руху. Для цього розроблені спеціальні випробувальні цикли, що включають найбільш часто використовувані сталі і змінні режими роботи двигуна автомобіля в умовах реальної експлуатації.

Випробування двигунів вантажних автомобілів масою більше 3,5 т і автобусів проводяться у відповідності до вимог Правил 49 ЕЕК ООН на спеціалізованих моторних стендах.

Європейський стаціонарний цикл (European Stationary Cycle - ESC) за принципом побудови близький до старого 13-ти ступінчастому циклу (табл. 1.6). Але в нім випробування проводяться при 3-х швидкісних характеристиках (А, В і С), які обмежують контрольну зону, з іншими навантаженнями і іншими чинниками значущості режимів в спільних викидах токсичних речовин (ваговими чинниками) [6]. Зокрема, істотно знижена значущість режимів повних навантажень.

Швидкісні характеристики А, В і С обчислюються по наступних співвідношеннях:

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

$$B = n_{lo} + 0,5 (n_{hi} - n_{lo});$$

$$C = n_{lo} + 0,75 (n_{hi} - n_{lo}).,$$

де n_{lo} - низька частота обертання двигуна (розрахункове значення для 50% наказаного максимального значення ефективної потужності $0,5N_{emax}$);

n_{nom} - частота обертання двигуна при N_{emax} ;

n_{hi} – висока частота обертання двигуна (розрахункова величина для 70% наказаного максимального значення ефективної потужності при $0,7N_{emax}$).

Одна пара фільтрів використовується для відбору проб ТЧ в ході всіх випробувань. Тривалість відбору проб на кожному режимі визначається або по закінченню часу, пропорційного ваговому коефіцієнту (не менше 4 сек на $0,01WF$) при незмінній витраті газів через лінію відбору проб, або по проходженню через фільтри розбавлених відпрацьованих газів, пропорційного ваговому.

Таблиця 1.6 - Характеристика Європейського стаціонарного циклу (European Stationary Cycle)

Номер режиму	Частота обертання колінчастого вала	Навантаження, %	Весовий фактор	Тривалість випробувань, хв ^{x)}
1	min. холостий хід	-	0,15	4
2	A	100	0,08	2
3	B	50	0,1	2
4	B	75	0,1	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	0,1	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

* Всі зміни навантаження і частоти обертання вала двигуна мають бути завершені протягом перших 20 секунд.

European Transient Cycle (ETC) - це цикл з безперервною (посекундною) зміною навантаження і частоти обертання колінчастого вала двигуна. Він також проводиться в стендових умовах на знятому з автомобіля двигуні. Послідовність зміни швидкісних і навантажень характеристик ETC у відносному вигляді приведена в Додатку 2 [6]. Як видно рис. 1.8, цикл ETC

складається з трьох фаз, що імітують рух автомобіля в умовах міста, передмістя і автомагістралі. В цілому цикл ЕТС триває 1800 секунд.

Перед проведенням випробувань відносні значення мають бути перетворені в абсолютні значення частоти обертання колінчастого валу і навантаження двигуна. Розрахунок конкретних значень для кожного двигуна проводиться по кривій характеристики навантаження двигуна.

$$\text{Реальна швидкість} = (n_{\text{nom}} - n_{\text{idle}}) \cdot \% \text{швидкості} / 100 - n_{\text{idle}};$$

$$n_{\text{nom}} = n_{\text{lo}} + 0,95 \cdot (n_{\text{hi}} - n_{\text{lo}});$$

$$\text{Реальне навантаження} = \% \text{нагрузки} \cdot \text{макс.нагрузка} / 100.$$

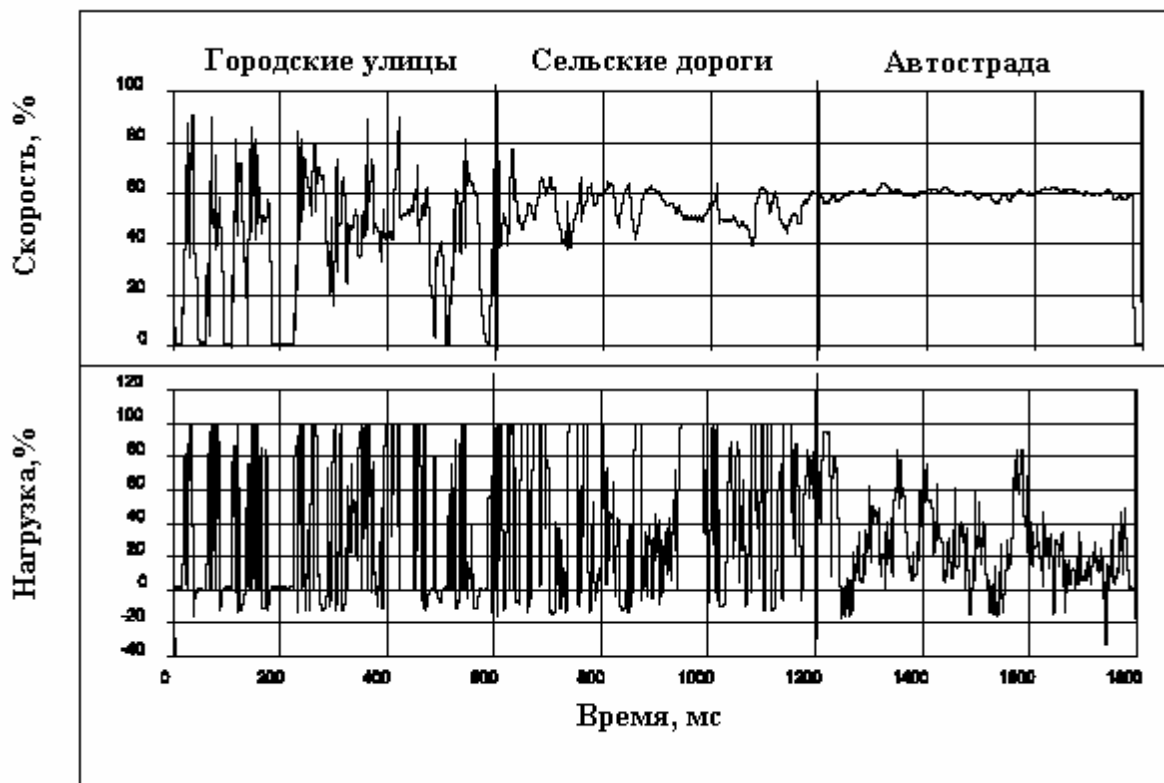


Рисунок 1.8 - Цикл ЕТС Правил 49-03 ЄЕК ООН для роботи двигуна на перехідних режимах

Унаслідок особливостей сумішоутворення і процесу згорання в дизелях наголошується порівняно великий викид сажі. У зв'язку з цим нові Правила 49-03 передбачають також нормування димності відпрацьованих газів, яка

визначається при випробуваннях дизельних двигунів по спеціальному циклу ELR - *European Load Response Test* [6].

Циклом ELR є цикл динамічного навантаження двигуна (рис. 1.9). Випробування проводяться на тих же швидкісних режимах А, В і С, що і в циклі ESC, а також на одному додатковому «випадковому» режимі, вибраному в контрольній зоні Технічною службою, яка проводить випробування. Випробування здійснюються таким чином. Спочатку двигун працює на швидкісному режимі А з навантаженням 10%. Потім подачі палива швидко виводиться в повністю відкрите положення для виходу на максимальне навантаження, а закон навантаження при цьому забезпечує підтримку заданої постійної частоти обертання. Аналогічно випробування проводяться і при швидкісних режимах В і С, а також на випадково вибраному швидкісному режимі при будь-якому навантаженні вище 10%. Димність двигуна визначається як середнє значення димності на заданих швидкісних режимах.

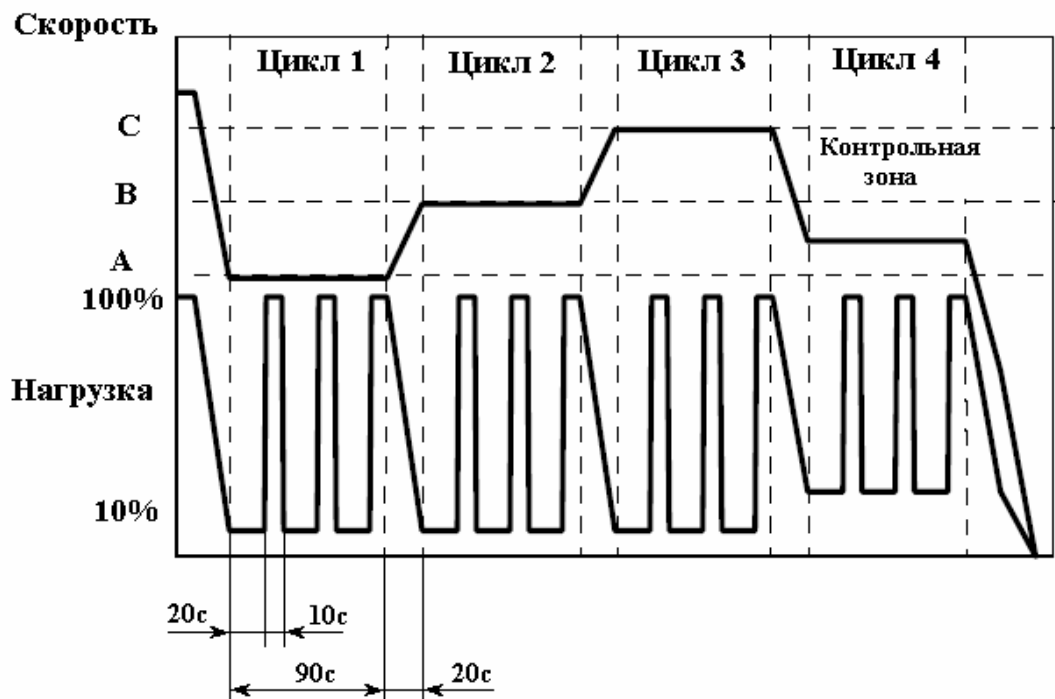


Рисунок 1.9 - Програма випробувань двигуна по циклу ELR

Для сертифікації «звичайних» дизелів, включаючи двигуни з електронним управлінням подачі палива, з системою рециркуляції відпрацьованих газів і окислювальними нейтралізаторами, на етапі ЄВРО-3 використовуються цикли ESC і ELR. Дизелі, оснащені «передовими» засобами зниження викидів речовин, такими як системи нейтралізації NO_x відновного типу, наприклад типа deNO_x, системи уловлювання і нейтралізації дисперсних часток повинні піддаватися всім трьом типам випробувань (ESC, ETC, ERL).

На всіх етапах після введення норм Євро-6 дизелі сертифікуються з використанням випробувань по всім трьом циклам. Газові двигуни з примусовим суміші сертифікуються тільки по циклу ETC. Введення нових норм вивело європейські Правила на рівень стандартів США.

В Правила ЄЕК ООН для важких транспортних засобів. Правила 49, що діють Женевської Угоди 1958 р, їх постійне вдосконалення, не змогли замінити екологічні стандарти для важких автотранспортних засобів, що діють в США і Японії. Для того, щоб усунути відмінності в процедурі оцінки шкідливих викидів важких транспортних засобів і їх нормуванні Комітету з Внутрішнього Транспорту була створена спеціальна інтернаціональна група, що включає експертів всіх ведучих промислово розвинених країн, метою роботи якої було гармонізація процедури сертифікаційних випробувань і створення глобальних () Правил, прийнятних для всіх країн. Було поставлено завдання розробки випробувального циклу, узагальнюючого режими руху транспорту в містах, на магістралях і замських трасах в різних регіонах . Спеціальна підгрупа Міжнародного Союзу по Стандартизації (ISO) одночасно розробляє пропозиції по необхідному устаткуванню, засобам і методам . Нові Правила також як і стандарти, що діють зараз в Європе, США і Японії передбачають оцінку і нормування викиду оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту і . Необхідно було уніфікувати різні методи шкідливих компонентів в розбавлених і нерозбавлених ВГ двигунів при випробуваннях як на сталих, так і несталих режимах роботи двигуна. При розробці нової процедури випробувань і враховувалося, що на перспективних двигунах

будуть використані нові технології зниження шкідливих викидів, такі як каталітична нейтралізація, регеновані фільтри (CRT) для уловлювання , системи зниження викиду оксидів азоту за допомогою адсорбційних накопичувачів і використання відновників, наприклад, вуглеводнів або аміаку (сечовини).

Як було показано вище, в даний час використовується 2 типи випробувань. Стандарти Японії (JARI) і Європи (цикл ESC Правил 49 ЄЕК ООН і Директиви 88/77/ЄЕС Євросоюзу) передбачають випробування двигуна на стенді на сталих режимах роботи. Такі цикли не відповідають реальним умовам експлуатації, особливо в міських умовах, оскільки не враховують несталий режим розгону транспортного засобу. Тому вже третя поправка до Правил 49 передбачає спочатку для газових двигунів з примусовим , а потім і для дизелів випробування по циклу на змінних режимах (Цикл ETC). При розробці нового циклу для глобальних Правил були проведені статистичні дослідження режимів роботи двигунів в США, Європі і Японії за різних умов експлуатації для транспортних засобів різної вантажопідйомності і різної сфери роботи. Був виконаний аналіз найбільш широко використовуваних циклів випробувань (US Transient Cycle, 13-ступінчастого японського циклу, нових Європейських циклів), які найбільш повно відображають характер руху в цих регіонах.

В результаті був розроблений близький до них варіант їздового циклу ***Worldwide Transient Vehicle Cycle (WTVC)***, приведений на рис.1.10 [7]. WTVC має три частки - імітація міського, заміського і високошвидкісного магістрального руху автомобіля. Однак випробування важкого транспортного засобу по такому циклу вимагає дуже дорогого спеціального роликового стенду і пов'язано з труднощами із-за сильної відмінності транспортних засобів в розмірах. Тому на наступному етапі їздовий цикл транспортного засобу був перетворений в цикл випробувань двигуна на стенді на змінних режимах, що імітують «рух» автомобіля по глобальному їздовому циклу.

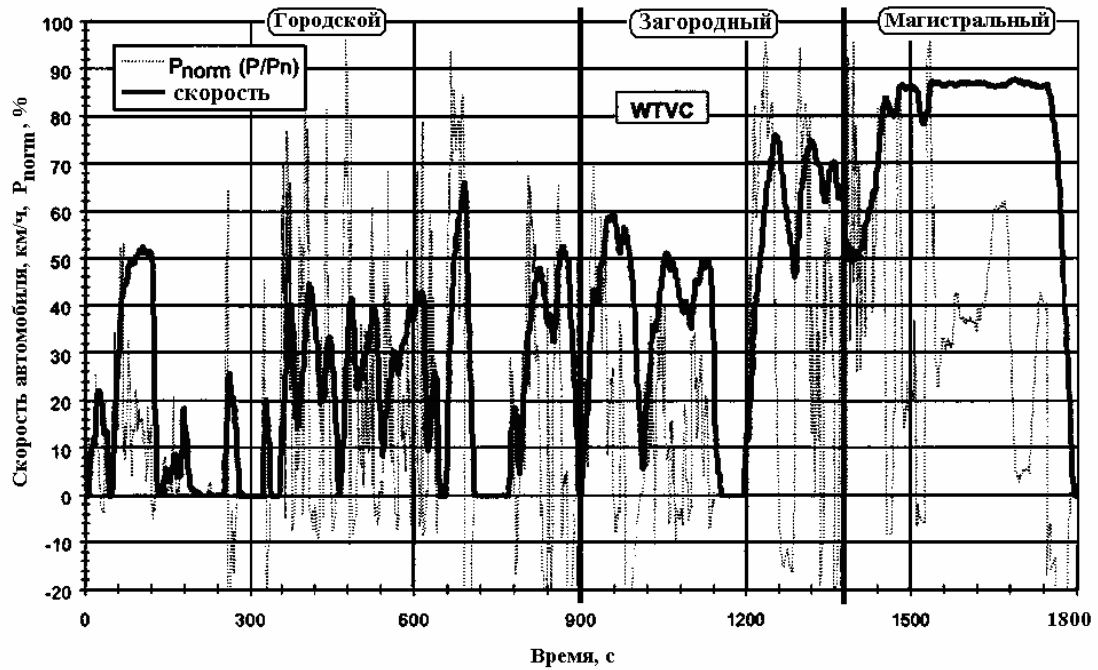


Рисунок 1.10 - Іздовий цикл глобальних Правил ЄЕК ООН для важких транспортних засобів - Worldwide Transient Vehicle Cycle

Worldwide heavy-duty transient cycle (WHTC) є послідовністю зміни нормалізованих (відносних) частоти обертання і навантаження двигуна (рис. 1.11) [8]. Для проведення стендових випробувань по WHTC нормалізовані значення мають бути перетворені на реальні значення для кожного конкретного двигуна. Цей процес називається денормалізацією і здійснюється в результаті перетворення даних по кривій характеристики навантаження, отриманої в ході попередніх випробувань. Цикл, що отримується на основі денормалізації, позначається як рекомендований (reference cycle). З набутих значень рекомендованих частоти обертання і навантаження двигуна власне і проводиться цикл випробувань, в ході яких здійснюється відбір проб частинок і інших токсичних компонентів. В ході випробувань по «Reference cycle» реєструються реальні значення частоти обертання, навантаження і потужності двигуна, що набувають в результаті зворотного зв'язку. Для перевірки правильності проведення випробувань проводиться регресійний аналіз між реально отриманими і рекомендованими параметрами роботи двигуна.

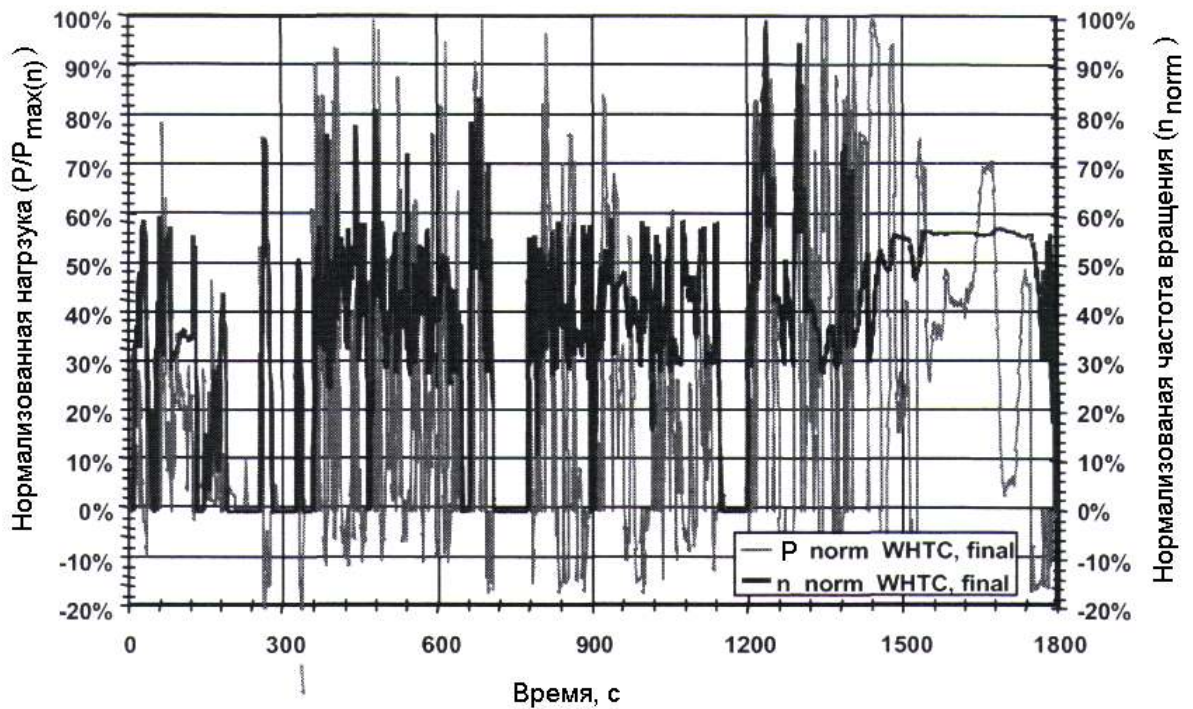


Рисунок 1.11 - Всесвітній цикл перехідних режимів для випробувань двигунів потужних вантажівок та автобусів - Worldwide heavy-duty transient cycle

Денормалізація частоти обертання здійснюється за допомогою рівняння:

Реальна частота обертання = $n_{\text{norm}} \cdot (0,45n_{\text{lo}} + 0,45n_{\text{pref}} + 0,1n_{\text{hi}} - n_{\text{idle}}) \cdot 2,0327 + n_{\text{idle}}$
де n_{lo} - найменша частота обертання, при якій потужність складає 55% максимальній потужності;

n_{pref} - частота обертання, при якій інтеграл максимальний навантаження складає 51% цілого інтеграла (інтеграл максимального навантаження має бути розрахований від n_{idle} до n_{95h} з кроком 8 хв^{-1} ; n_{95h} - це найбільш висока швидкість, при якій потужність складає 95% максимальній потужності);

n_{hi} - найбільш висока швидкість, при якій потужність складає 70% максимальній потужності;

n_{idle} - частота обертання на холостого ходу.

Значення відносного навантаження денормалізуватимуться по кривій характеристики навантаження. Реальне навантаження розраховується як добуток відносного навантаження (у долях) на максимальне навантаження для

відповідної реальної частоти обертання на кривій характеристики навантаження.

Результати порівняльних випробувань автомобілів по регіональних циклах (європейським ESC і ETC, японському 13-ступінчастому циклу і US Transient cycle) і по Всесвітньому циклу WHTC, що гармонізує все вище перераховані, приведені на рис. 1.12 [7].

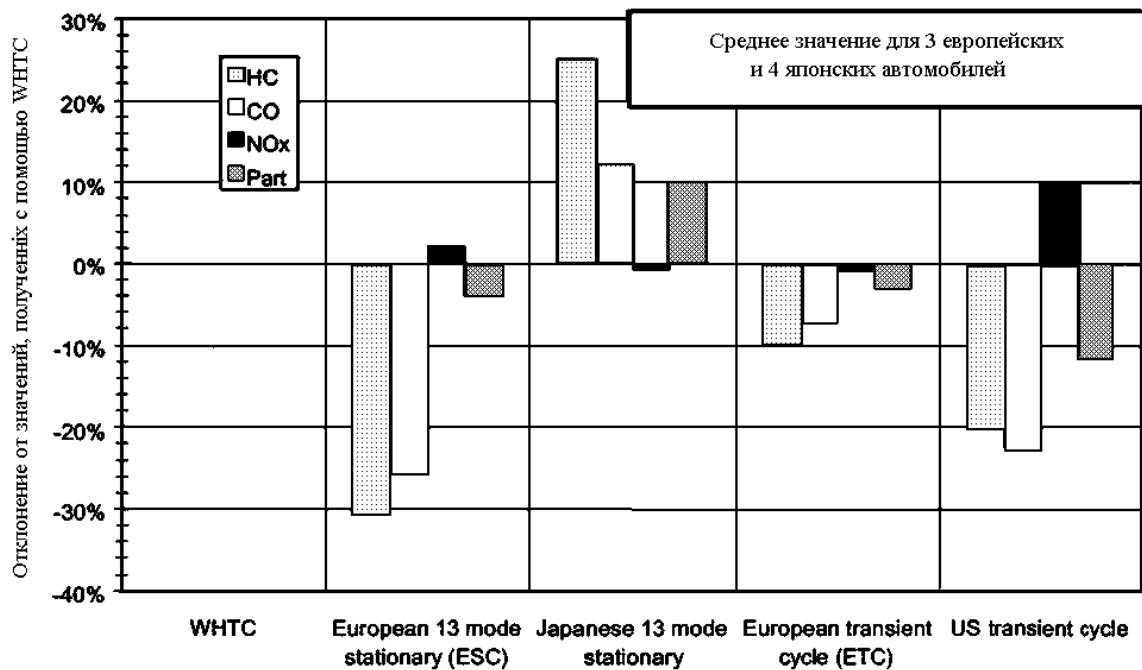


Рисунок 1.12 - Порівняльна оцінка результатів визначення токсичних викидів при випробуваннях по циклу WHTC та найбільш розповсюдженим циклам

На підставі Worldwide heavy-duty transient cycle для випробувань двигунів (WHTC) був також розроблений *Worldwide heavy-duty Steady State cycle (WHSC)* [8]. Усесвітній стаціонарний цикл WHSC складається з 12 режимів роботи двигуна (комбінації частоти обертання і навантаження), що охоплюють типовий діапазон роботи двигунів для вантажних автомобілів і автобусів. Характеристики сталих режимів вибрані, виходячи з прагнення як найповніше представити розподіл характеристик навантажень і швидкостей transient engine cycle (WHTC), що ліг в основу даного циклу (табл. 1.7).

Таблиця 1.7 - Всесвітній стаціонарний цикл для випробувань двигунів вантажівок та автобусів масою більш ніж 3,5 т Worldwide heavy-duty Steady State cycle

Номер режиму	Частота обертання, %	Навантаження, %	Весовий фактор, %	Час відбору проби, с	Тривалість режиму, с
0	Прокрутка		24		
1	0	0	17	340	370
2	55	100	2	40	70
3	55	25	10	200	230
4	55	70	3	60	90
5	35	70	2	40	70
6	25	25	8	160	190
7	45	70	3	60	90
8	45	25	6	120	150
9	55	50	5	100	130
10	75	100	2	40	70
11	35	50	8	160	190
12	35	25	10	200	230
Усього			100	1520	1880

Загальний час циклу 31,3 хвилини. Прокрутка не входить в період випробувань, під час якого здійснюється відбір проб. Тому її тривалість (5,7 мін) не враховується в загальній тривалості циклу і тривалості відбору проб. Потужність двигуна і викиди токсичних речовин в цій фазі випробувань прийняті рівними нулю. Відбирається одна проба за весь цикл. Тривалість відбору проби на кожному режимі пропорційна ваговому фактору. Час відбору проби в цілому за цикл складає 1520 с.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ

З метою створення теоретичної бази для підвищення ефективності процедури вимірювань показників GAS_x та PT і зниження таким чином витрат часу і ресурсів на проведення екологічних випробувань автомобільних двигунів розроблена комплексна математична модель процесу контролю викидів забруднюючих речовин від ДВЗ.

2.1 Комплексна математична модель процесу контролю викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ

Комплексна математична модель процесу контролю викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ (далі – комплексна модель) є системою алгебраїчних виразів, що зв'язують між собою параметри, що визначають умови проведення випробувань і швидкість виміру показника PT , з показниками ефективності випробувань.

Як початкові дані для побудови комплексної моделі використовувалися:

- алгоритми формування складових ефективності випробувань;
- алгоритми обчислень показників токсичності ВГ;
- параметри, що характеризують режим розбавлення ВГ повітрям в системі контролю викидів забруднюючих речовин - тунелі;
- результати експериментальних досліджень фірм-розробників систем контролю викидів ТЧ за оцінкою впливу умов розбавлення ВГ повітрям в тунелі на вимірювані масові викиди і структуру ТЧ.

Аналіз порядку проведення екологічного діагностування ДВЗ, описаного вище, дозволяє встановити наступні механізми формування складових ефективності даної процедури.

Витрати часу на проведення випробувань є сумою витрат часу на попереднє прогрівання двигуна і тривалості його роботи на режимах випробувального циклу. При цьому, тривалість роботи двигуна на кожному режимі випробувань визначається підсумовуванням витрат часу на температурну стабілізацію дизелю і тривалість відбору проб забруднюючих речовин, яка є найбільшою з тривалості відбору проб газоподібних речовин і ТЧ.

Витрати палива на проведення випробувань є сумою витрат палива на попереднє прогрівання двигуна і кількості палива, що витрачається на реалізацію випробувального циклу, яке визначається підсумовуванням витрат палива на нормованих режимах випробувань.

Економічні витрати на проведення випробувань є сумою економічних витрат на роботу технічного персоналу, що бере участь в проведенні випробувань, і на паливно-мастильні матеріали, що витрачаються в ході випробувань: паливо і масло.

2.2 Математичні моделі процесів охолодження розбавлених ВГ та формування складових ефективності екологічних випробувань ДВЗ

Математичний апарат комплексної моделі складається з:

- математичної моделі процесу охолодження розбавлених ВГ дизеля в тунелі – S_1 ; за допомогою даної моделі обчислюються коефіцієнти розбавлення ВГ і температури проби перед фільтрами ($^{\circ}\text{C}$), що характеризують фактичні розбавлення ВГ повітрям у еталонному (повнопоточному) тунелі на нормованих режимах випробувань – q_i , t_{fi} ;

- математичної моделі формування складових ефективності випробувань – S_2 ; за допомогою даної моделі визначаються показники – E^{test} и $\overline{E^{\text{test}}}$;

Математична модель процесу охолодження розбавлених відпрацьованих газів в тунелі. Дана модель – зв'язує між собою параметри, що визначають процес охолодження ВГ в тунелі і ЛВ (вхідні параметри) з

параметрами, що характеризують умови розбавлення ОГ (вихідними параметрами) (рис. 2.1). До числа вхідних параметрів моделі входять: геометричні розміри (діаметр, довжина): тунеля – d_t, L_t і ЛВ - d_{sam}, L_{sam} ; масові витрати: ВГ, що поступають в тунель, - G_{exh} , розбавлених ВГ в тунелі (сумарного потоку) - G_t , розбавлених ВГ в ЛВ – G_{sam} ; температури: ВГ – t_{exh} і повітря - t_{dil} . Вихідними параметрами моделі є: коефіцієнт розбавлення ВГ (дорівнює відношенню величин G_t і G_{exh}) – q і температура проби перед фільтрами – t_f .

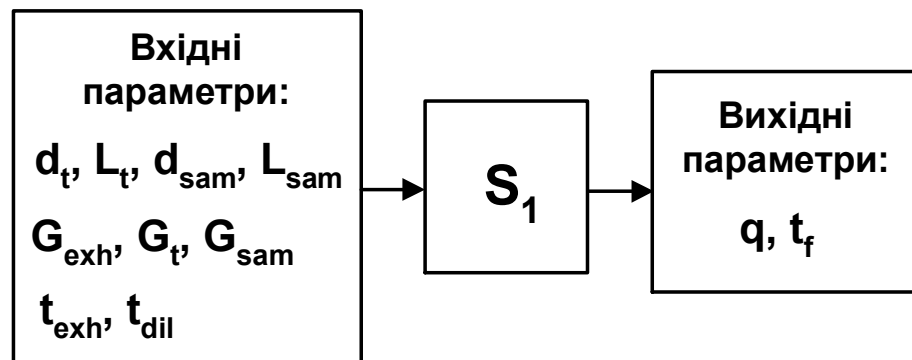


Рисунок 2.1 - Структура математичної моделі S_1

Вхідними параметрами моделі S_1 являються величини: $G_{edf}, G_{exhi}, t_{exhi}, t_{dil}, t_{f(max)}, V_f$; до вихідних параметрів моделі S_1 належать: q_i, t_{fi} (назви та одиниці вимірювань вказаних параметрів наведено вище). Математична модель S_1 є системою двох рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} q_i &= \frac{G_{edf}}{G_{exhi}} \\ t_{fi} &= t_{ti}^b - \Delta t_{(t-sam)i}^w - \Delta t_{sami}^{aux} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де i – індекс режиму випробувань; t_{ti}^b - середньомасова температура потоку розбавлених ВГ в початковому перетині трубопроводу розбавлення ВГ еталонної системи (у перетині, в якому починається змішування ВГ і повітря),

$^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{(t\text{-sam})i}^w$ – величина зменшення температури розбавлених ВГ, обумовленого теплопередачею через стінки трубопроводів повнопоточного тунеля і ЛВ, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}$ – величина зменшення температури розбавлених ВГ, що протікають в ЛВ, обумовленого тепловими втратами на допоміжних елементах ЛВ (фланцях, трійниках, кульових кранах і ін.), $^{\circ}\text{C}$.

Перше рівняння системи (2.1) отримане на основі визначення коефіцієнта розбавлення ВГ. Другим рівнянням даної системи є вираження, за допомогою якого враховується зниження температури потоків, що протікають в повнопотоковому тунелі і ЛВ, що виникає в результаті теплообміну між даними потоками і навколишнім середовищем.

Значення параметра t_{ti}^b визначаються за допомогою наступного вираження (наслідок формули (6.13) роботи [10]):

$$t_{ti}^b = \frac{G_{\text{exhi}} t_{\text{exhi}} + (G_{\text{edf}} - G_{\text{exhi}}) t_{\text{dil}}}{G_{\text{edf}}} = \frac{t_{\text{exhi}} - t_{\text{dil}}}{q} + t_{\text{dil}}. \quad (2.2)$$

Параметр $\Delta t_{(t\text{-sam})i}^w$ є сумою двох величин: зниження температури потоку розбавлених ВГ, що протікає в тунелі, обумовленого теплопередачею через стінку тунеля, - Δt_{ti}^w , і зниження температури потоку, розбавлених ВГ, що протікає у ЛВ, обумовленого теплопередачею через стінку ЛВ - Δt_{sami}^w :

$$\Delta t_{(t\text{-sam})i}^w = \Delta t_{ti}^w + \Delta t_{\text{sami}}^w. \quad (2.3)$$

Значення величин Δt_{ti}^w та Δt_{sami}^w визначаються за допомогою виражень, отриманих в результаті спільного вирішення рівнянь теплового балансу і теплопередачі, що описують процеси теплообміну з навколишнім середовищем потоків, що протікають в тунелі і ЛВ:

$$\Delta t_{ti}^w = 0,278 \cdot \frac{\pi d_t L_t k_{ti} (t_{t(m)i} - t_{\text{dil}})}{c_p G_{\text{edf}}}, \quad (2.4)$$

$$\Delta t_{\text{sami}}^w = 0,278 \cdot \frac{\pi d_{\text{sam}} L_{\text{sam}} k_{\text{sami}} (t_{\text{sam}(m)i} - t_{\text{dil}})}{c_p G_{\text{sam}}}, \quad (2.5)$$

де 0,278 – множник, що враховує розмірності величин, що входять у вираження (2.4) і (2.5); d_t , L_t - діаметр і довжина трубопроводу розбавлення ВГ

повнопотокового тунеля (при розрахунках дані величини приймалися рівними: $d_t = 0,5$ м, $L_t = 5$ м); d_{sam} , L_{sam} - діаметр і довжина ділянки ЛВ, що контактує з навколишнім середовищем (при розрахунках дані величини приймалися рівними: $d_{sam} = 0,016$ м, $L_{sam} = 0,75$ м); k_{ti} , k_{sami} - коефіцієнти теплопередачі стінок трубопроводів тунеля і ЛВ на i -м режимі, Вт/(м²*°С); $t_{(m)i}$, $t_{sam(m)i}$ - середні температури потоків розбавлених ВГ, що протікають в тунелі і ЛВ, на i -м режимі (°С), обчислювані по формулах: $t_{(m)i} = t_{ti}^b - \Delta t_{ti}^w / 2$ и $t_{sam(m)i} = t_{ti}^b - \Delta t_{ti}^w -- \Delta t_{sami}^w / 2$; c_p - питома теплоємність розбавлених ВГ, кДж/(кг*°С); G_{sam} - масова витрата потоку, протікаючого ЛВ, кг/год.

Значення коефіцієнтів теплопередачі k_{ti} і k_{sami} , що входять у вираження (2.4) і (2.5), визначаються за допомогою методики, розробленої авторами, і викладеною в додатку А. При цьому, при обчисленні коефіцієнта k_{ti} використовується критерійне рівняння, що описує процес тепловіддачі на кордоні потік-стінка тунеля, визначене дослідним шляхом.

Параметр G_{sam} визначається за допомогою вираження:

$$G_{sam} = 9\pi d_f^2 v_f \rho_{sam1} = \text{const},$$

де 9 – множник, що враховує розмірності величин, що входять в дане вираження; d_f – внутрішній діаметр патрона з робочими фільтрами, м (при використанні фільтрів з діаметрами 70 мм - $d_f = 0,06$ м); v_f – швидкість фільтрації проби розбавлених ВГ, см/с; $\rho_{sam1} = \rho_0 \cdot P_f \cdot 273 / (101,3 \cdot (273 + t_{f(max)}))$ – щільність розбавлених ВГ, що протікають крізь фільтри на режимі номінальної потужності, кг/м³ ($\rho_0 = 1,21$ кг/м³ - щільність розбавлених ВГ за нормальних умов; P_f – абсолютний тиск потоку розбавлених ВГ перед фільтрами, кПа).

Параметр Δt_{sami}^{aux} визначається на основі припущення про пропорційність величини теплових втрат на допоміжних елементах ЛВ - ΔQ_{sami}^{aux} і кількості тепла, що підводиться з ВГ в тунель, - ΔQ_{ti}^{in} :

$$\Delta Q_{sami}^{aux} = \varepsilon_G c_p G_{edf} \Delta t_{sami}^{aux} \sim \Delta Q_{edf}^{in} = c_p G_{edf} \vartheta_{ti}^b,$$

де $\varepsilon_G = G_{\text{sam}} / G_{\text{edf}}$ – безрозмірний коефіцієнт; $\vartheta_{ti}^b = t_{ti}^b - t_{\text{dil}}$ – температурний напор потоку розбавлених ВГ в початковій перетині тунелю, °С.

Наслідком даного допущення є вираження для визначення величини $\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}$:

$$\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}} = a \vartheta_{ti}^b, \quad (2.6)$$

де a – коефіцієнт пропорційності, постійна величина.

Коефіцієнт a , що входить у вираження (2.6), залежить від конструктивних особливостей ЛВ і визначається експериментальним шляхом на базі розбавляючого тунелю по наступному алгоритму:

1) по виміряних в ході експерименту значеннях величин q_i , t_{exhi} та t_{dil} визначаються величини t_{ti}^b (за допомогою вираження (2.2)) і ϑ_{ti}^b ;

2) по відомих значеннях геометричних і теплотехнічних параметрів тунелю і газодинамічних параметрів потоків розбавлених ВГ, що протікають в тунелі і ЛВ, за допомогою виразів (2.3) – (2.5) визначаються значення величин $\Delta t_{(t-\text{sam})i}^w$;

3) на основі виміряних в ході експерименту величин t_{fi} визначаються значення параметрів $\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}$ за допомогою вираження:

$$\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}} = t_{fi} - \Delta t_{(t-\text{sam})i}^w;$$

4) за допомогою формули для обчислення коефіцієнта пропорційності рівняння регресії лінійного виду, отриманої на основі методу найменших квадратів [11], визначається величина коефіцієнта a :

$$a = \frac{m \sum_{i=1}^m (\vartheta_{ti}^b \cdot \Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}) - \sum_{i=1}^m \vartheta_{ti}^b \cdot \sum_{i=1}^m \Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}}{m \sum_{i=1}^m (\vartheta_{ti}^b)^2 - (\sum_{i=1}^m \vartheta_{ti}^b)^2},$$

де m – число експериментальних крапок, для яких визначалися значення величин ϑ_{ti}^b і $\Delta t_{\text{sami}}^{\text{aux}}$.

При відомих значеннях всіх величин, що входять в рівняння системи (2.1), вихідні параметри моделі S_1 визначаються за допомогою алгоритму, представленого в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Алгоритм обчислення вихідних параметрів моделі S₁ при реалізації режиму розбавлення «постійність об'єму відбираємої проби» (CVS)

№ операції	Вихідні данні для розрахунку	Параметр (параметри), що обчислюються	рівняння системи (2.1), що використовується
1	$G_{exh1}, t_{exh1}, t_{dil}, t_{f(max)}, V_f$	$G_{edf} = const$	2-е
2	G_{edf}, G_{exhi}	q_i	1-е
3	$G_{edf}, G_{exhi}, t_{exhi}, t_{dil}, V_f$	t_{fi}	2-е

Математична модель формування складових ефективності екологічних випробувань. Вхідними параметрами моделі S₂ являються величини: $\tau^{heat}, \tau_i^{st}, \tau_i^{sam(GASx)}, G_{fueli}, C_{PTi}, q_i^{opt}, t_{fi}^{opt}, M_f, (M_{fi})$ и v_f ; вихідними параметрами моделі S₃ являються складові показника $E^{test} - \tau^{test}, M_{fuel}^{test}, C^{test}$ та складові показника $\overline{E}^{test} - \overline{\tau}^{test}, \overline{M}_{fuel}^{test}, \overline{C}^{test}$. Назви та одиниці вимірювань вказаних параметрів наведено вище.

Модель S₂ є системою трьох рівнянь, за допомогою яких визначаються складові показника E_{test} (дана система рівнянь розроблена на базі алгоритмів формування складових ефективності випробувань з урахуванням рекомендацій, викладених в роботах [10, 12]):

$$\left. \begin{aligned} \tau^{test} &= \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n \tau_i^{mode}, \\ M_{fuel}^{test} &= G_{fuel}^{heat} \tau^{heat} + \sum_{i=1}^n (G_{fueli} \times \tau_i^{mode}), \\ C^{test} &= M_{fuel}^{test} \times c_{fuel} + k_{oil} \times M_{fuel}^{test} \times c_{oil} + \tau^{test} \times c_{test}, \end{aligned} \right\} (2.7)$$

де i – індекс режиму випробувань; $\tau_i^{mode} = \tau_i^{st} + \max\{\tau_i^{sam(GASx)}; \tau_i^{sam(PT)}\}$ – середнє значення тривалості роботи дизелю на i -му режимі, год ($\tau_i^{sam(PT)}$ – середнє значення тривалості відбору проб ТЧ, год); $G_{fuel}^{heat} \cong G_{fuel(idle)}$ - середнє значення

масової витрати палива на етапі попереднього прогрівання двигуна, що приймається рівним масовій витраті палива на режимі холостого ходу, кг/год; c_{fuel} , c_{oil} , c_{test} , k_{oil} – середні значення величин: питомій вартості палива, грн./кг; питомій вартості масла, грн./кг; вартості 1-ї години роботи персоналу, грн/ч; коефіцієнта, рівного відношенню маси масла, що витрачається в ході випробувань, до маси палива, що витрачається.

Значення величин $\tau_i^{sam(PT)}$ визначаються з урахуванням використовуваного методу відбору проб ТЧ за допомогою виражень:

$$\tau_i^{sam(PT)} = \frac{WF_i M_f}{\sum_{i=1}^n (WF_i m_i)} \quad - \text{при однофільтровому методі,} \quad (2.8)$$

$$\tau_i^{sam(PT)} = \frac{M_{f_i}}{m_i} \quad - \text{при багатофільтровому методі,} \quad (2.9)$$

де m_i – середнє значення швидкості осідання ТЧ на фільтрах на i -му режимі (мг/год), яке визначається за допомогою вираження:

$$m_i = 1000 \cdot \frac{C_{PTi}}{Q_i} \cdot \frac{G_{sam}}{\rho_{sam_i}},$$

де C_{PTi} – середнє значення концентрації ТЧ у ВГ на i -му режимі, г/м³; $\rho_{sam_i} = \rho_0 \cdot P_f \cdot 273 / (101,3 \cdot (273 + t_{fi}))$ – середнє значення щільності розбавлених ВГ, що протікають в ЛВ, на i -м режимі, кг/м³.

Значення величин C_{PTi} , використовуваних при обчисленні параметрів m_i , визначаються або шляхом безпосередніх вимірів, або розраховуються по одній з наступних емпіричних формул:

$$C_{PTi} = 0,349 \times \ln(1 - (N_i / 100))^{-1} \quad [13], \quad (2.10)$$

$$C_{PTi} = (2,3 \cdot 10^{-3} \cdot N_i + 5 \cdot 10^{-5} \cdot N_i^2) + (0,145 \cdot C_{CHi} + 0,33 \cdot C_{CHi}^2) \quad [14], (2.11)$$

де N – середнє значення димності ВГ у %-х шкали Hartridge, зміряної на i -му режимі димоміром з ефективною базою, рівною 0,432 м (димоміри з такою ефективною базою використовуються у вітчизняному транспорті [15]), C_{CHi} –

середнє значення концентрації газоподібних вуглеводнів у ВГ дизеля на i -му режимі, г/м^3 .

Основною гідністю формули (2.10) є простота використання; проте, обчислені з її допомогою величини C_{PTi} мають великі погрішності, що досягають на режимах малої потужності дизеля десятків відсотків. Достатньо високою точністю обчислень величин C_{PTi} характеризується формула (2.11) (при її виведенні розбіжності між розрахунковими і експериментальними даними не перевищували $\pm 5\%$); але, при цьому, дана формула є складнішою у використанні (для її застосування необхідно знати більше інформації про ВГ).

Складові показника $\overline{E}^{\text{test}}$ визначаються за допомогою виражень, отриманих на базі визначення даного показника:

$$\overline{\tau}^{\text{test}} = \frac{\tau^{\text{test}}}{\tau^{\text{test(GASx)}}}, \quad \overline{M}_{\text{fuel}}^{\text{test}} = \frac{M_{\text{fuel}}^{\text{test}}}{M_{\text{fuel}}^{\text{test(GASx)}}}, \quad \overline{C}^{\text{test}} = \frac{C^{\text{test}}}{C^{\text{test(GASx)}}},$$

при цьому величини $\overline{\tau}^{\text{test}}$, $\overline{M}_{\text{fuel}}^{\text{test}}$ і $\overline{C}^{\text{test}}$ обчислюються за допомогою рівнянь системи (2.7) за умови обчислення тривалостей τ_i^{mode} за допомогою вираження: $\tau_i^{\text{mode}} = \tau_i^{\text{st}} + \tau_i^{\text{sam(GASx)}}$.

Середні значення параметрів, використовуваних при обчисленні складових показників E^{test} та $\overline{E}^{\text{test}}$, визначаються, як середні арифметичні з результатів серії спостережень за допомогою вираження:

$$P = \sum_{j=1}^m p_j,$$

де P – середнє значення параметра; m – число спостережень (вибирається достатньо великим (не менше 10) для того, щоб підвищити достовірність результатів обчислень); p_j - значення параметра, зміряне в j м іспиті.

Невизначеність при обчисленні величини P враховується шляхом обчислення ширини довірчого інтервалу Δ_p , в якому з довірчою вірогідністю, рівною 0,95, знаходиться дійсне значення даного параметра:

$$\Delta_p = 2S_p,$$

де S_P – середньоквадратичне відхилення величини P для серії з m спостережень (крапкова оцінка середньоквадратичного відхилення математичного очікування даного параметра для генеральної сукупності спостережень):

$$S_P = \left(\frac{1}{m(m-1)} \sum_{j=1}^m (p_j - P)^2 \right)^{0,5}.$$

В результаті визначення величин P і Δ_P кожен параметр, що використовується при обчисленні складових показників E^{test} та $\overline{E^{\text{test}}}$, виражається в наступному вигляді:

$$\text{Параметр} = P \pm \Delta_P.$$

На основі аналізу результатів реостатних випробувань дизелів різних типів при розробці моделі прийнято:

$$\tau^{\text{heat}} = 0,5 \pm 0,25 \text{ год};$$

$$\tau_i^{\text{st}} = 0,33 \pm 0,17 \text{ год};$$

$$k_{\text{oil}} = 0,015 \pm 0,005.$$

Тривалість процедур відбору проб для аналізу газоподібних речовин на нормованих режимах випробувань прийнята рівною:

$$\tau_i^{\text{sam(GASx)}} = 0,05 \text{ ч (3 хв)}.$$

Невизначеності визначення (довірчі інтервали) складових показників E^{test} та $\overline{E^{\text{test}}}$ розраховуються за допомогою формули для визначення погрішності результату непрямих вимірів [16]:

$$\Delta_X = \left(\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial X}{\partial P_{Xi}} \Delta_{P_{Xi}} \right)^2 \right)^{0,5}, \quad (2.12)$$

де X – складова показника ефективності випробувань (E^{test} або $\overline{E^{\text{test}}}$); Δ_X – довірчий інтервал величини X ; k – число параметрів, по яких обчислюється величина X ; P_X – параметр, використовуваний при обчисленні величини X ; $\partial X / \partial P_X$ – приватна похідна величини X по параметру P_X ; Δ_{P_X} – ширина довірчого інтервалу параметра P_X .

Результати обчислень середніх значень складових показників ефективності випробувань – X (за допомогою моделі S_2) і їх невизначеностей – Δ_X (визначається за допомогою вираження (2.12)) виражаються в наступному вигляді:

$$\text{Складова показника ефективності випробувань} = X \pm \Delta_X.$$

2.3 Практична цінність комплексної моделі

Практична цінність комплексної моделі полягає в наступному:

- модель володіє властивістю універсальності – з її допомогою можуть визначатися складові абсолютної та відносної ефективності екологічних сертифікаційних і дослідницьких випробувань різних ДВЗ;

- за допомогою моделі можуть визначитися показники ефективності екологічних випробувань ДВЗ різного призначення, а також розраховуватись параметри, що характеризують процес розбавлення ВГ двигуна у еталонній (повнопоточній) системі підготовки проби до аналізу – CVS;

- модель дозволяє визначати для будь-якого режиму роботи дизелю оптимальні умови розбавлення ВГ, при яких забезпечується найкраща точність вимірювань питомих викидів ТЧ, оскільки результуюча погрішність вимірювань показника РТ не містить погрішності методичної складової.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЙ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ – МІКРОТУНЕЛЬ МКТ-2

На протязі останніх 30-ти років в галузі екологічної стандартизації і сертифікації дизельних ДВЗ відбулись суттєві зміни, пов'язані з введенням нового екологічного показника – масового викиду твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ) дизелю. З 1980 р. у США [19] та з 1993 р. у країнах ЄС [2, 15,16] даний показник був введений до складу таких величин, що нормуються та вимірюються в ході сертифікаційних випробувань дизельних двигунів (разом з масовими викидами газоподібних забруднюючих речовин: монооксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту). При цьому під ТЧ розуміють увесь матеріал, зібраний на спеціальних фільтрах після пропускання крізь них ВГ дизеля, розбавлених атмосферним повітрям до температури, що не перевищує 52 °С [18].

Для вимірювання масових викидів дизельних ТЧ використовується спеціальне дороговартісне обладнання – розбавляючий тунель, в якому в результаті розбавлення ВГ повітрям імітується природня поведінка ТЧ у атмосфері. Сучасні розбавляючі тунелі повинні бути універсальними, щоб забезпечувати можливість їх використання у випробуваннях дизелів різних типів – як малої, так і великої потужності при виконанні різних випробувальних процедур – стаціонарних та транзйентних циклів (ESC, ETC, WTVС, WHTC та ін. [20]). Разом з тим, у останній час пред'являються підвищені вимоги до точності тунелей, бо в результаті збільшення жорсткості екологічних норм, викиди ТЧ, що контролюються, суттєво зменшуються. Так, у порівнянні з 1993 р. (роком введення в дію норм EURO I у країнах ЄС) у 2005 р. з введенням норм EURO IV допустимі рівні масових викидів ТЧ з ВГ дизелів вантажних автомобілів, знизились у 18 разів – з 0,36 до 0,02 г/кВт*год (при випробуваннях двигунів по циклу ESC) [20].

На діючий момент промисловістю України не виробляються власні розбавляючі тунелі, у той час, як вітчизняне двигунобудування зазнає високу потребу у данному обладнанні. Використання таких вимірювальних систем передбачається концепцією гармонізації вітчизняної та європейської нормативних баз в галузі екології транспорту.

У ході виконання данної наукової роботи було вирішене завдання створення вітчизняного універсального, високоточного обладнання для контролю масових викидів ТЧ з ВГ дизелів різних типів. Для цього вирішені наступні задачі: а) вибір типу пробовідбірної системи; б) проектування, розробка та тестування системи контролю масових викидів ТЧ; в) проектування, розробка та тестування камери для стабілізації та зважування фільтрів; г) експериментальне відпрацювання створеного обладнання на тормозному стенді дизельного двигуна. Результати вирішення вказаних задач наведені нижче у відповідних розділах.

3.1 Структура вимірювального комплексу з мікротунелем

На початковій стадії розробки вимірювального комплексу для контролю масових викидів ТЧ з ВГ дизелів були вивчені відповідні нормативні документи [5,6,9,17,19] та проаналізовано досвід провідних фірм-виробників данного обладнання (AVL, Pirburg, Perkins, Mitsubishi та ін.), на основі якого зроблено вибір типу та принципової схеми пробовідбірної системи (тунелю), визначено основні елементи вимірювального комплексу, які у наслідку були виготовлені.

Вибір типу пробовідбірної системи. Розбавляючий тунель являє собою трубопровід з нержавіючої сталі, в якому здійснюється змішування ВГ з повітрям з метою імітації природньої поведінки ТЧ у атмосфері. Довжина ділянки розбавлення ВГ у тунелі складає 10 його діаметрів [19]. В залежності від кількості ВГ, що розбавляється, тунелі поділяються на 2 основних типи: повнопоточні (у них розбавляються повітрям усі ВГ, що викидаються дизелем)

та частковопоточні (у них розбавляється лише частина від повного потоку ВГ дизелю – від декількох сотих до десятків процентів). У свою чергу, частковопоточні системи поділяються на міні- та мікротунелі (рис. 3.1).

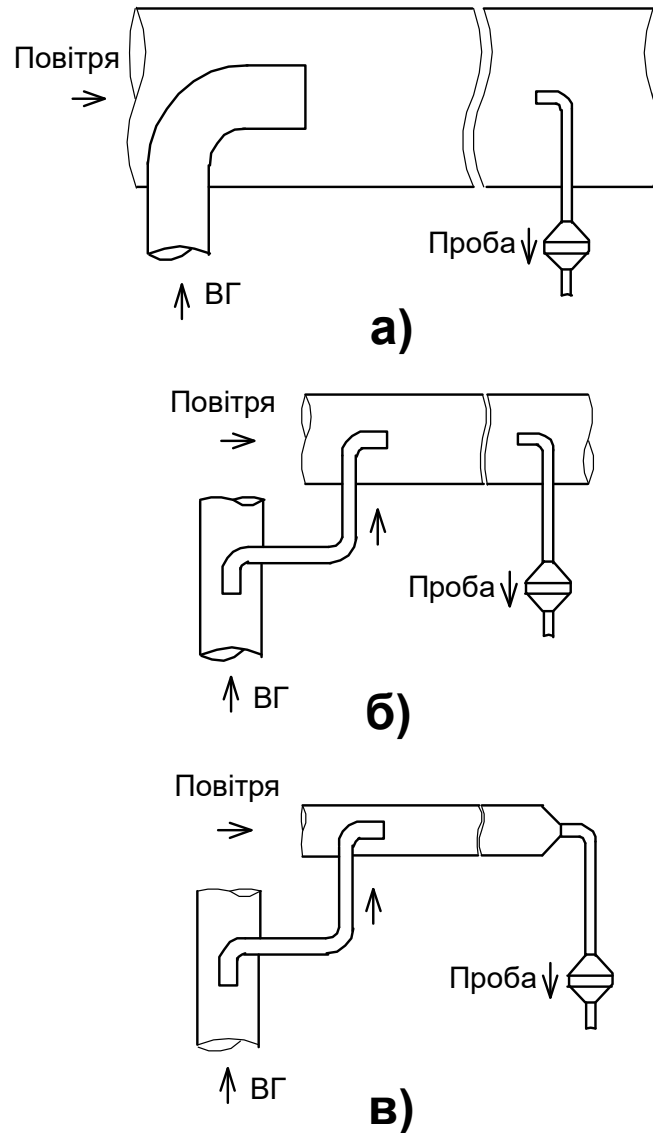


Рисунок 3.1 - Типи розбавляючих тунелів:

а) повнопоточний (з однократним розбавленням); б) мінітунель; в) мікротунель.

Повнопоточні тунелі (діаметр трубопроводу – 460 мм і більше) являються еталонним обладнанням для вимірювання масових викидів ТЧ з ВГ дизелів [5]. У порівнянні з іншими пробовідбірними системами вони мають

простіші принципові схеми, у них реалізуються прості алгоритми визначення викидів ТЧ. Однак, повнопоточні пробовідбірні системи мають ряд суттєвих недоліків, які обмежують використання даного обладнання. До них відносяться: а) висока вартість (1 млн. дол. США і більше); б) громіздкість (мінімальні розміри тунелю з однократним розбавленням ВГ – діаметр 0,46 м, довжина 4,6 м; продуктивність газодувки - до 100 м³/хв; для розміщення такого обладнання необхідне окреме приміщення); в) відсутність універсальності (тунель, розроблений для автомобільного дизелю, не може використовуватись при випробуванні тепловозних, або судових дизелів з великими масовими витратами ВГ).

Мінітунелі (діаметр трубопроводу розбавлення ВГ – 75...100 мм) мають значно менші габаритні розміри, ніж у повнопоточних систем, вони більш мобільні та менш вартісні (приблизна вартість таких систем – 250 тис. дол. США). До даного типу пробовідбірних систем відносяться мінітунелі з ізокінетичним пробовідбірником [5]. Недоліком мінітунелей є не повна універсальність – вони не можуть використовуватись при випробуваннях дизелів з малими масовими витратами ВГ (побутових, садівних та ін.).

Найбільш перспективним та таким, що широко використовується, обладнанням для контролю викидів дизельних ТЧ сьогодні є компактні *мікротунелі* (діаметр трубопроводу розбавлення ВГ – 25...40 мм). Данні пробовідбірні системи мають найменші вартість (100-150 тис. дол. США), габарити та масу [28]. Мікротунелі універсальні, мобільні та зручні у експлуатації. При цьому вони (також, як і мінітунелі) повинні забезпечувати потрібну точність вимірювань масових викидів ТЧ (допустимі відхилення результатів, що були отримані з використанням міні- та мікротунелей, від результатів еталонних (повнопоточних) систем становлять $\pm 5\%$).

На основі аналізу переваг і недоліків різних типів тунелей та досвіду їх практичного використання в якості пробовідбірної системи вимірювального комплексу, що розробляється, було обрано мікротунель (прототип – відома австрійська система SPC 472 фірми AVL [19]).

Основні елементи вимірювального комплексу. Вимірювальний комплекс з мікротунелем складається з 3-х основних елементів: пробовідбірної системи (мікротунелю), електронного модуля керування мікротунелем та камери для стабілізації і та зважування фільтрів (рис. 4.2, 4.3).



Рисунок 3.2 - Структура вимірювального комплексу

Мікротунель функціонально можливо розділити на 3 підсистеми:

- систему відбору частини потоку ВГ, яка забезпечує відбір з випускної системи дизелю потрібної кількості ВГ та транспортування її до трубопроводу розбавлення;

- систему розбавлення ВГ, яка забезпечує змішування ВГ з розбавляючим повітрям у потрібному співвідношенні (до температури, що не перевищує 52 °С);

- систему відбору проб ТЧ, яка забезпечує пропускання необхідної кількості розбавлених ВГ крізь фільтри, на яких збираються ТЧ.



Рисунок 4.3 - Основні елементи вимірювального комплексу

Електронний модуль керування мікротунелем являє собою пов'язаний з персональним комп'ютером (ПК) мікропроцесорний блок (МПБ), до якого приєднані усі датчики та органи керування мікротунеля. За допомогою МПБ виконуються наступні операції:

- контроль поточних показників датчиків та витратомірів пробовідбірної системи;
- керування процесом відбору проб ТЧ (перемикання режимів байпас-відбір проб ТЧ за допомогою шарових кранів);
- передача функцій контролю та керування мікротунелем на ПК, що дозволяє реєструвати, обробляти та протоколювати результати вимірювань масових викидів дизельних ТЧ.

Камера для стабілізації та зважування фільтрів призначена для забезпечення потрібних умов проведення зважування робочих фільтрів. У камері встановлені системи кондиціонування (перемішування) повітря, регулювання температури та відносної вологості.

3.2 Принцип дії, елементи конструкції та показники ефективності мікротунеля МКТ-2

Мікротунель призначений для відбору проб ТЧ з розбавленої повітрям частини потоку ВГ дизелю, який випробовується по встановленій програмі.

Принцип дії мікротунелю. Принцип дії мікротунелю полягає у наступному (рис. 3.4).

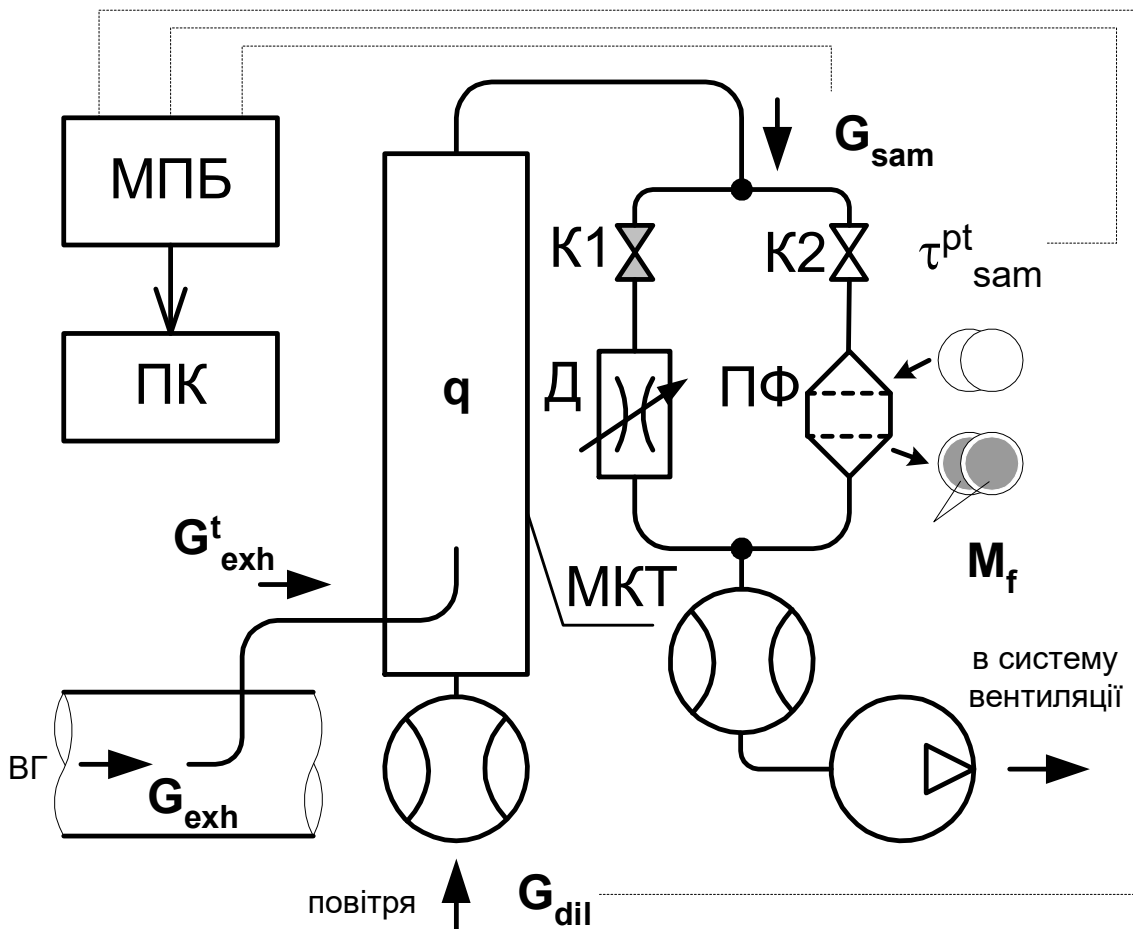


Рисунок 3.4 - Принципова схема мікротунелю:

ПК – персональний комп’ютер; МПБ – мікропроцесорний блок; K1, K2 – шарові крани; Д – дросель; ПФ – патрон з фільтрами; МКТ – мікротунель.

Частина ВГ з масовою витратою G_{exh}^t відбирається з вихлопної системи двигуна і подається в розбавляючий тунель, де відбувається їхнє змішування з

атмосферним повітрям. З тунелю потік розбавлених ВГ з масовою витратою G_{sam} крізь один з шарових кранів надходить або в байпасну магістраль, або в робочий канал, у якому установлений патрон із двома фільтрами для відбору ТЧ (основним та допоміжним).

Шарові крани К1 і К2 завжди перебувають у протилежних станах: коли один відкритий – інший закритий і навпаки. При підготовці проби до аналізу відкритий кран К1 і розбавлені ВГ протікають через байпасную магістраль. За допомогою дроселя Д забезпечується регулювання тиску в даній магістралі таким чином, щоб у момент перемикання кранів не виникало гідравлічного удару. При виконанні процедури відбору проб ТЧ відкритий кран К2 і вся проба розбавлених ВГ протікає крізь фільтри. При цьому фіксується тривалість даної процедури - τ_{sam} . Величина, яка дорівнює відношенню масових витрат G_{sam} і G_{exh}^t , називається коефіцієнтом розбавлення ВГ – q , у ході випробувань вона установлюється такою, щоб температура проби перед фільтрами t_f не перевищувала 52 °С.

Після завершення випробувань вимірюється маса ТЧ – M_f , як приріст маси робочих фільтрів за час випробувань. Для контролю параметрів G_{sam} , G_{exh}^t , τ_{sam} , t_f і керування шаровими кранами К1 і К2 використовується МПБ. У ході виконання випробувань усі зазначені величини протоколюються й використовуються при обчисленнях наступних показників:

а) масових викидів ТЧ на окремих режимах роботи дизелю – PT_{massi} :

$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{M_{sami}} \cdot q_i \cdot G_{exhi}, \text{ г/ГОД,}$$

де i – індекс режиму; $M_{sami} = G_{sami} \cdot \tau_{sami}$ – маса проби розбавлених ВГ, яка пройшла крізь фільтри на i -му режимі, г; G_{exhi} – маса витрата ВГ у вихлопній системі дизелю, г/год;

б) питомих викидів ТЧ на окремих режимах роботи дизелю - \overline{PT}_{massi} :

$$\overline{PT}_{massi} = \frac{PT_{massi}}{N_{ei}}, \text{ г/кВт*год,}$$

де N_{ei} – ефективна потужність дизелю на i -му режимі, кВт.

Якщо двигун випробовується по циклу [2, 4-6], то за результатами випробувань розраховується середньоексплуатаційний масовий викид ТЧ за цикл – РТ:

$$РТ = \frac{PT_{\text{mass}}^{\text{test}}}{N_e^{\text{test}}}, \text{ г/кВт*год},$$

де $PT_{\text{mass}}^{\text{test}}$ та N_e^{test} - середні за цикл масовий викид ТЧ та ефективна потужність дизелю.

Конструкція мікротунелю. Як відзначалося вище, мікротунель по функціональній ознаці можна розділити на 3 підсистеми, які мають наступні конструктивні особливості (рис. 3.5).

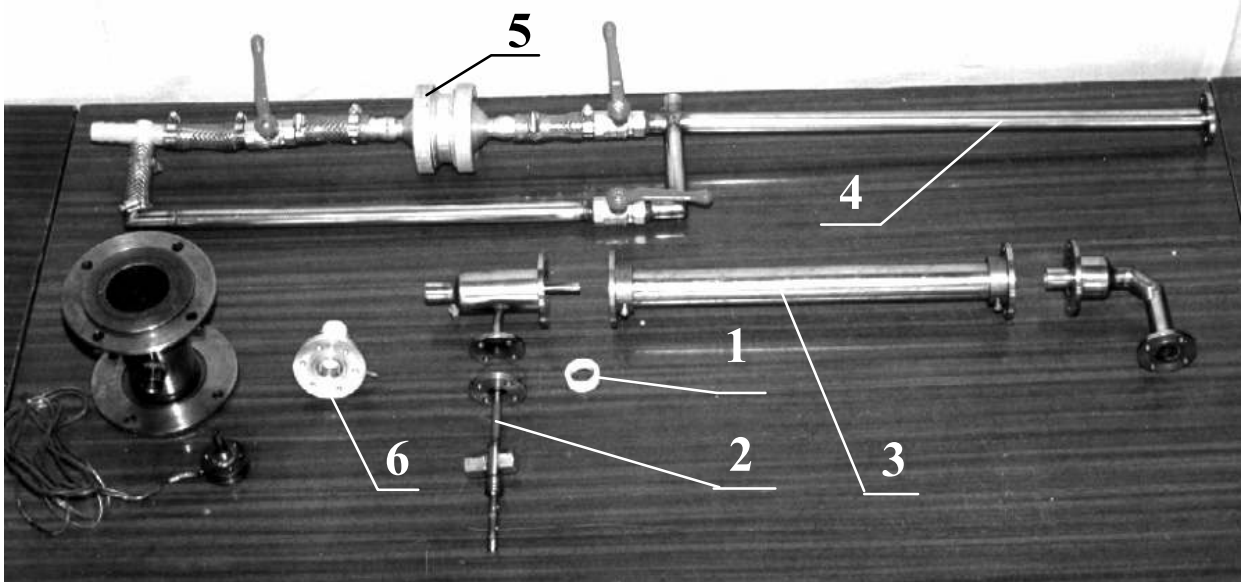


Рисунок 3.5 - Основні елементи мікротунелю:

1 - діафрагма; 2 – пробовідбірник (у виконанні 2); 3 – розбавляючий тунель; 4 – лінія відбору проб ТЧ (у неавтоматизованому виконанні); 5 – патрон з фільтрами для відбору ТЧ; 6 – витратомір розбавляючого повітря - колектор.

Система відбору частини потоку ВГ містить у собі наступні елементи:

- пробовідбірник – трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 6 мм і довжиною 150 мм, виготовлений у двох виконаннях, які

передбачають установку пробовідбірника паралельно (виконання 1) та перпендикулярно (виконання 2) потоку ВГ;

- трубопровід переносу ВГ з внутрішнім діаметром 6 мм та малою довжиною (для зменшення теплових втрат і осадження ТЧ) – 150 мм;

- регулятор витрати ВГ, що плавно перекидає перетин трубопроводу переносу ВГ від повністю закритого до повністю відкритого стану.

Система розбавлення ВГ, має такі складові:

- розбавляючий тунель - трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 30 мм і довжиною 350 мм;

- діафрагму, яка встановлюється на вході в тунель з метою покращення процесу змішування ВГ з повітрям;

- газодувку з продуктивністю 60...90 л/хв (1,2...1,8 г/с), яка є одночасно й пробовідбірним насосом;

- витратоміри розбавляючого повітря (колектор, профільований по дузі окружності з внутрішнім діаметром 5 мм) та розбавлених ВГ (нормальне сопло діаметром 2,5 мм);

- гнучкий полівініловий шланг довжиною 2 м, який пов'язує тунель з колектором.

Система відбору проб ТЧ має елементи:

- лінію відбору проб ТЧ - трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 18 мм і довжиною 850 мм;

- регулятор режимів відбір-байпас – два шарових крани, які знаходяться у протилежних станах;

- байпасну магістраль, в якій встановлено дросель, що вирівнює тиск у байпасній та робочій магістралях;

- робочу магістраль, в якій встановлено патрон з двома фільтрами діаметром 70 мм для відбору ТЧ;

- захистний фільтр з паперовим фільтруючим елементом, який застерігає пробовідбірний насос від забруднення ТЧ;

- гнучкий полівініловий шланг довжиною 2 м, який пов'язує захисний фільтр з пробовідбірним насосом.

Показники ефективності пробовідбірної системи. До основних показників ефективності мікротунелю відносяться:

- *показники точності вимірювань*: інструментальні похибки вимірювань масових (г/год), питомих (г/кВт*год) викидів ТЧ на окремих режимах випробувань та середньоексплуатаційних викидів ТЧ (г/кВт*год), які вимірюються в ході циклових випробувань, складають: 5%, 3,5% та 3%, відповідно [30] (при допустимих значеннях указаних похибок: 6%, 4,5% та 3,5%, відповідно [19]);

- *показники швидкодії*: тривалість підготовки мікротунелю до проведення вимірювання не перевищує 1 хв; тривалості процедур відбору проб ТЧ становлять: на режимах холостого ходу та малої потужності – 5...7 хв, на режимах середньої потужності – 2...3 хв, на режимі номінальної потужності – до 1 хв;

- *масогабаритні показники*: розміри тунелю (L, В, Н) - 500×300×1200 - мм, маса (з газодувкою) – 40 кг;

- *приблизна вартість вимірювального комплексу з мікротунелем* складає 40 тис. дол США, що у 2...2,5 рази менше, ніж у світових аналогів.

3.3 Камера для стабілізації та зважування фільтрів

Камера для стабілізації та зважування фільтрів (рис. 4.6) забезпечує потрібний за вимогами міжнародних стандартів температурний режим зважування робочих фільтрів: температура та відносна вологість в камері повинні підтримуватись на постійних рівнях з припустимими коливаннями $\pm 6^{\circ}\text{C}$ та $\pm 10\%$, відповідно; заданні рівні температури та відносної вологості повинні знаходитись у діапазонах: 20...30 $^{\circ}\text{C}$ та 35...55%, відповідно; тривалість періоду стабілізації перед зважуванням від 2 до 36 годин [5].

Камера має теплоізолюваний корпус (ізолятор – шар пінопласту товщиною 30 мм), закритий прозорою кришкою з органічного скла. Для доступу персонала до аналітичних ваг та фільтрів у процесі їх зважування у кришці камери герметично закріплені гумові рукавички.

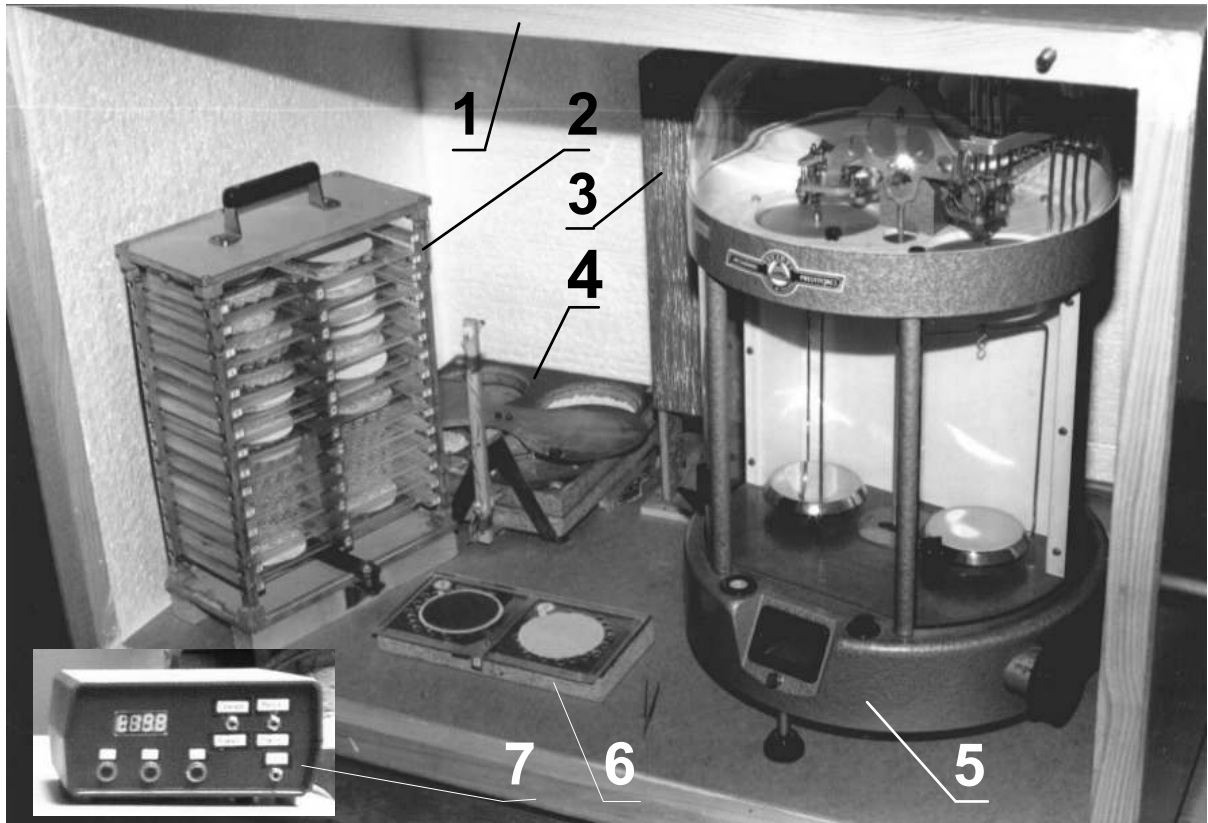


Рисунок 3.6 - Основні елементи камери:

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 температурним режимом камери.

Усередині камери знаходяться:

- система кондиціонування з вентилятором, який забезпечує рівномірне перемішування повітря в камері та відсутність градієнту температур у будь-якій її точці;

- система регулювання температури з нагрівачем потужністю 100 Вт, яка забезпечує підтримку температури усередині камери на заданому рівні (у діапазоні 20...30 °С) з точністю ± 1 °С;

- система регулювання відносної вологості повітря з регулятором поглинання-виділення вологи (поглинач вологи – селікагель, генератор вологи – дисцильована вода); данна система забезпечує підтримку відносної вологості в камері на заданому рівні (у діапазоні 40...90%) з точністю ± 3 %;

- аналітичні ваги з похибкой зважування $\pm 0,05$ мг;

- касета з робочими фільтрами (ємність 30 пар фільтрів);

- підставка для фіксації панелі з фільтрами;

- пінцет.

Камера має габарити: L, В, Н - 800×600×600 мм; маса камери (з аналітичними вагами) – 40 кг. Тривалість безперервного періоду стабілізації фільтрів складає не менше, ніж 8 годин. Для зручності транспортування камери на її верхній стінці встановлені дві ручки.

Для контролю і управління температурним режимом камери використовується електронний модуль – мікропроцесорний блок.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ВГ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВЗ

4.1 Розробка та дослідження компенсаційного способу вимірювань масової витрати проби ВГ

Одним з найбільш вартісних вузлів сучасних частковопоточних систем є вимірювач масової витрати ВГ, які надходять до тунелю – параметра G_{texh} . Особливість даного вузла полягає в тому, що величина G_{texh} визначається непрямым шляхом (пряме вимірювання не може бути виконано з причин високої температури, забрудненості та хімічної агресивності потоку ВГ). Пропонується використання компенсаційного способу вимірювання величини G_{texh} , вартість якого суттєво нижче, ніж у відомих аналогів.

Огляд відомих способів визначення масової витрати ВГ, які відбираються до частковопоточних систем. Нижче наведено огляд розповсюджених принципових схем частковопоточних тунелів, в яких реалізовані різні способи визначення величини G_{exh} .

Мінітунель з ізокінетичним пробовідбірником (керований нагнітаючим компресором PB) (рис. 4.1).

Первинні ВГ направляються з вихлопної труби EP до змішувальної каналу DT по відводному патрубку TT через ізокінетичний пробовідбірник ISP . Різниця тисків ВГ у вихлопній трубі і на вході в пробовідбірник вимірюється за допомогою датчика тиску DPT . Сигнал від датчика передається на регулятор витрати $FC1$, який управляє роботою нагнітаючого насоса PB , потрібного для забезпечення потрібного перепаду тиску на наконечнику пробо-відбірника. Це досягається відбором невеликої частини потоку повітря, витрату якого вже було визначено витратоміром $FM1$, і спрямуванням його у TT через сопло.

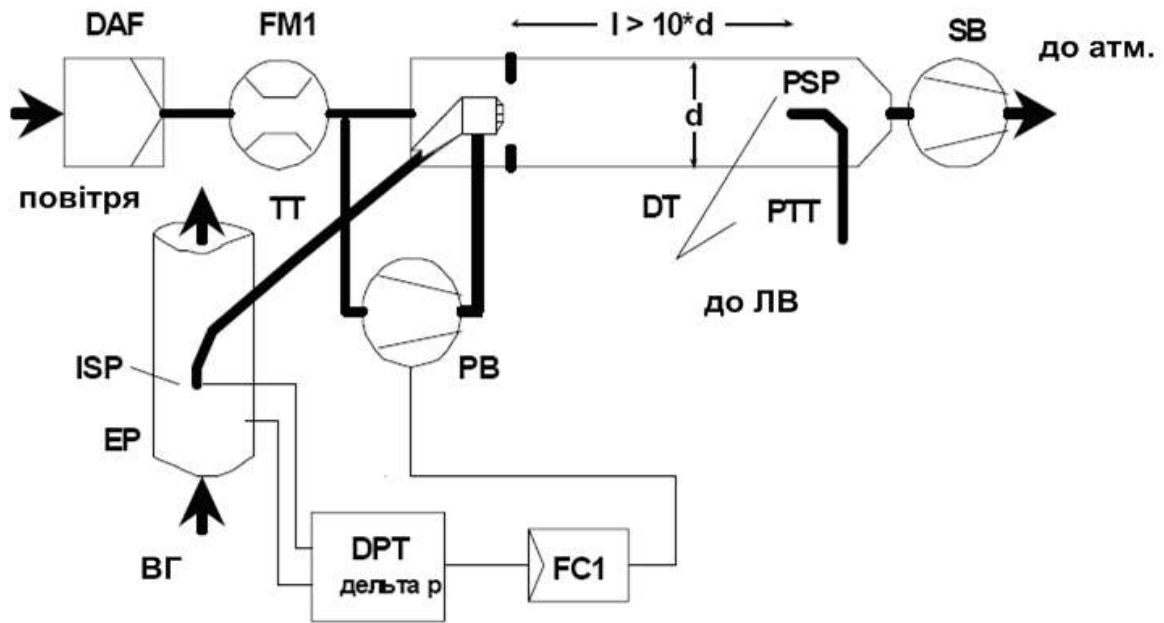


Рисунок 4.1 – Принципова схема мінітунелю з ізокінетичним пробовідбірником (керованого нагнітаючим компресором *PB*)

При дотриманні цих умов швидкості потоків ВГ у *EP* і *ISP* однакові, а потік, що проходить через *ISP* і *TT*, являє собою постійну частину від повного потоку ВГ. Коефіцієнт відбору ВГ визначається по відношенню поперечних перерізів *EP* і *ISP*. Повітря подається у *DT* за допомогою витяжного насоса *SB*, а масова витрата потоку повітря визначається витратоміром *FM1* на вході у *DT*. Коефіцієнт розбавлення розраховують на основі масової витрати повітря та коефіцієнта відбору ВГ.

Мікротунель з вимірюванням концентрації CO_2 та використанням рівняння вуглецевого балансу (рис. 4.2). Первинні ВГ направляються з вихлопної труби *EP* в змішувальний канал *DT* через пробовідбірник *SP* і відповідний патрубок *TT*. Концентрації CO_2 вимірюються у розбавлених ВГ і у повітрі за допомогою аналізатора (аналізаторів) ВГ *EGA*. Сигнали, що інформують про концентрацію CO_2 і витрату палива *GFUEL*, передаються на регулятор витрати *FC2* або на регулятор витрати *FC3* системи відбору проб ТЧ.

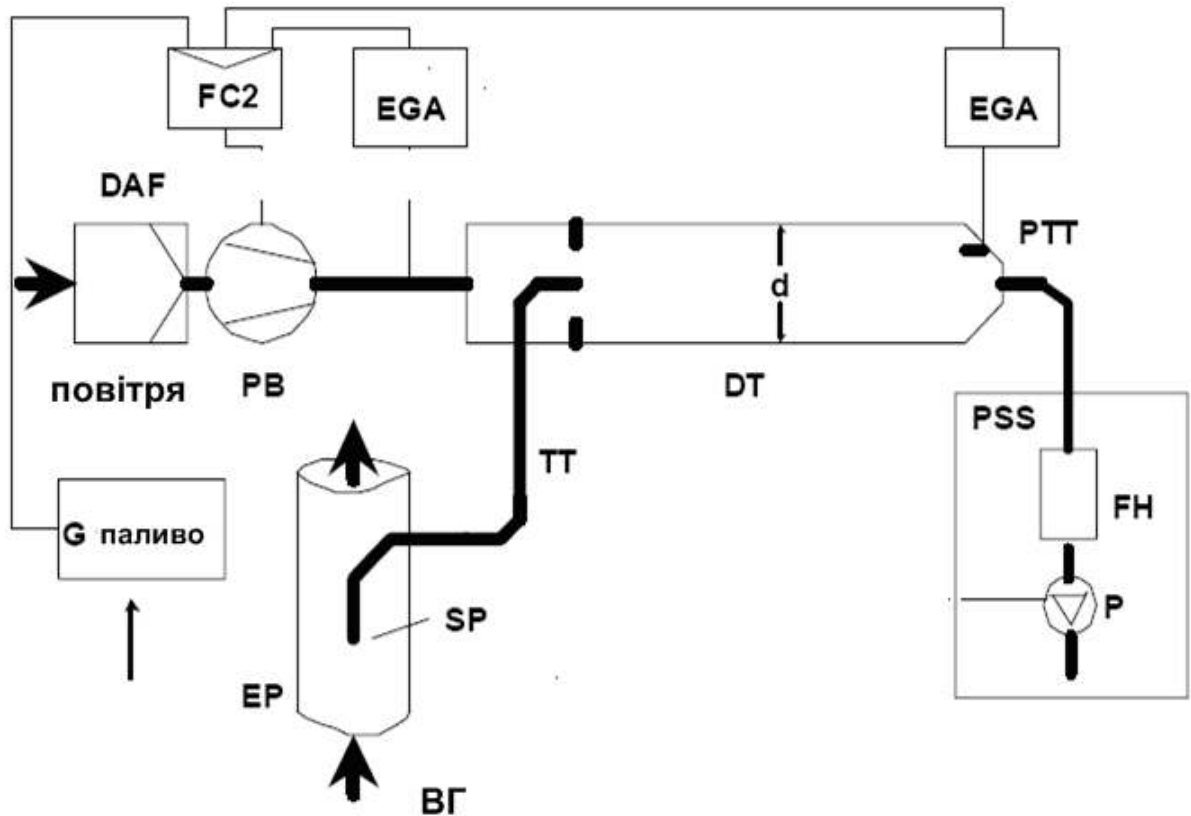


Рисунок 4.2 – Принципова схема мікротунелю з вимірюванням концентрації CO_2 та використанням рівняння вуглецевого балансу

Регулятор $FC2$ управляє роботою нагнітаючого насоса PB , а регулятор $FC3$ – роботою насоса P для подачі проби в систему, тим самим регулюючи витрати потоків на вході в систему і вихід з неї з метою забезпечення належного розділення потоків $ВГ$ і відповідного значення коефіцієнту розбавлення $ВГ$ у DT . Коефіцієнт розбавлення розраховується на основі концентрації CO_2 і витрати палива $GFUEL$ в припущенні про наявність вуглецевого балансу.

Мінітунель з одинарною трубкою Вентурі та вимірюванням концентрацій CO_2 або NO_x (рис. 4.3).

Первинні $ВГ$ направляються з вихлопної труби EP в змішувальний канал DT через пробовідбірник SP і відповідний патрубок TT під впливом негативного тиску, створюваного трубкою Вентурі VN у DT .

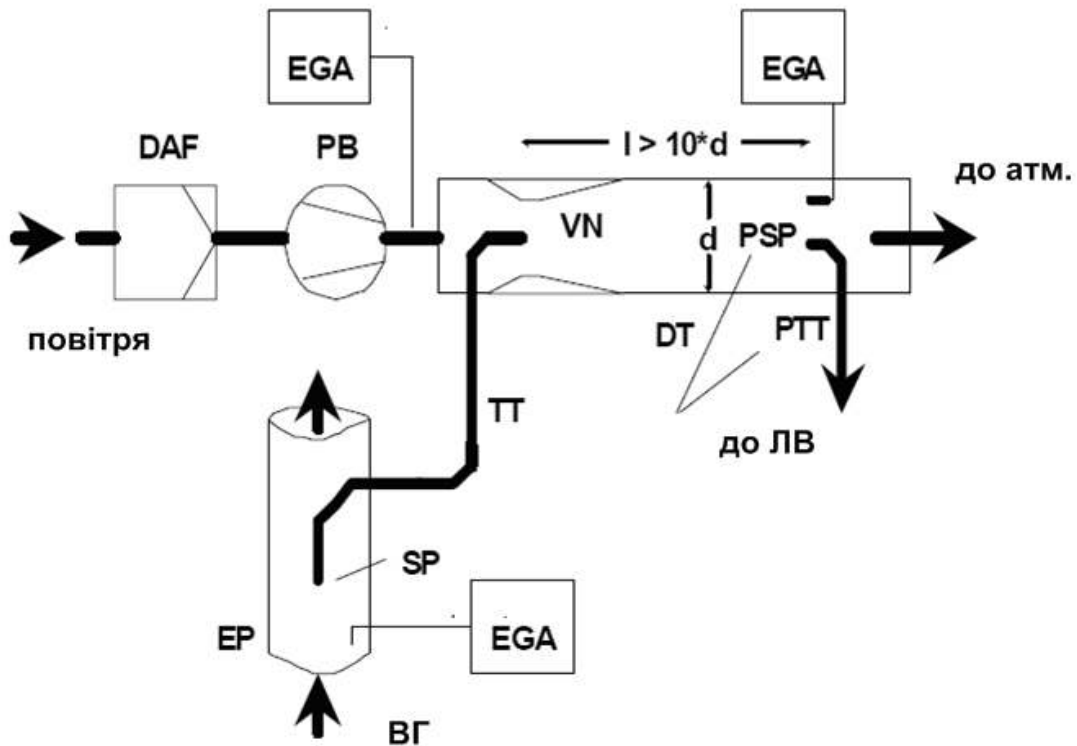


Рисунок 4.3 – Принципова схема мінітунелю з одинарною трубкою Вентурі та вимірюванням концентрацій CO_2 або NO_x

Витрата газу через TT залежить від обміну енергією в зоні розташування трубки Вентурі і тому на нього впливає абсолютна температура газу на виході з TT . Отже, коефіцієнт відбору потоку ВГ для даної витрати в каналі не є постійною величиною, і коефіцієнт розбавлення при малому навантаженні трохи нижче, ніж при високому навантаженні. Концентрації індикаторних газів (CO_2 або NO_x) вимірюють у первинних ВГ, розбавлених ВГ і у повітрі за допомогою аналізатора (аналізаторів) ВГ EGA , а коефіцієнт розбавлення розраховується на основі отриманих таким чином значень.

Мінітунель з двома трубками Вентурі або двома соплами та вимірюванням концентрацій CO_2 або NO_x (рис. 4.4).

Первинні ВГ направляються з вихлопної труби EP в змішувальний канал DT через пробовідбірник SP і відповідний патрубок TT за допомогою роздільника потоку, що включає в себе комплект сопел або трубок Вентурі.

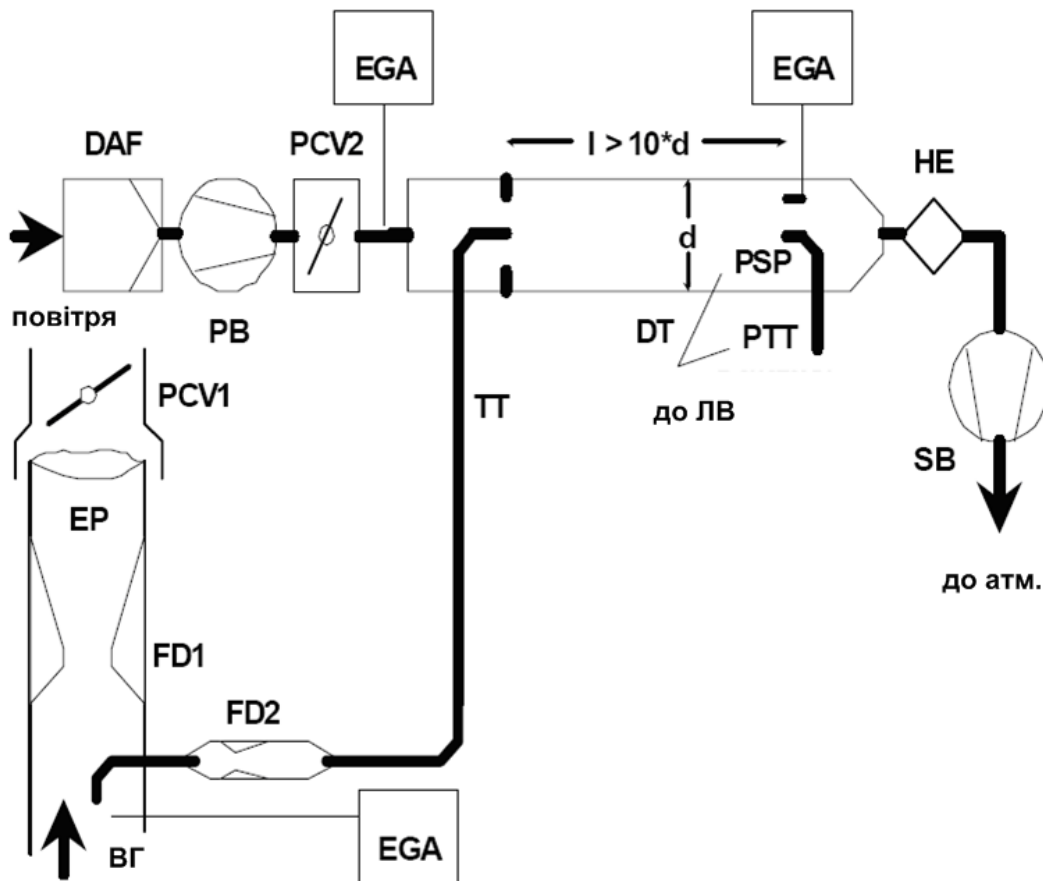


Рисунок 4.4 – Принципова схема мінітунелю з двома трубками Вентурі або двома соплами та вимірюванням концентрацій CO_2 або NO_x

Перша трубка ($FD1$) знаходиться в EP , а друга ($FD2$) – в TT . Крім того, необхідні два клапани регулювання тиску ($PCV1$ і $PCV2$) для забезпечення незмінності коефіцієнту відбору ВГ за рахунок регулювання протитиску в EP і тиску в DT . $PCV1$ розташований за SP (за напрямом потоку) в EP , а $PCV2$ – між нагнітаючим насосом PB і DT . Концентрації індикаторних газів (CO_2 або NO_x) вимірюють у первинних ВГ, розбавлених ВГ і у повітрі за допомогою аналізатора (аналізаторів) ВГ EGA . Вони необхідні для перевірки коефіцієнту відбору ВГ і можуть використовуватися для регулювання $PCV1$ і $PCV2$ з метою більш чіткого управління відбором потоків. Коефіцієнт розбавлення розраховується на основі концентрацій індикаторних газів.

Мінітунель багатотрубного типу та вимірюванням концентрацій CO_2 або NO_x (рис. 4.5).

відбору ВГ і можуть вико рис-товуватися для управління витратою повітря, що подається з метою більш чіткого контролю за відбором ВГ. Коефіцієнт розбавлення розраховується на основі концентрацій індикаторних газів.

Ефективність компенсаційного способу визначення масової витрати ВГ – G_{exh}^t , оцінювалася в ході досліджень, метою яких було порівняння його з поширеним диференційним способом (застосовується в мікротуннелі *AVL SPC 472* [20]) за критерієм точності використовуваного вимірювального обладнання, яка визначає вартість вимірювача G_{exh}^t . Для досягнення даної мети вирішені наступні завдання:

- 1) вивчення умов вимірювання масової витрати G_{exh}^t в частковопоточному тунелі;
- 2) аналіз диференційного та компенсаційного способів вимірювання G_{exh}^t ;
- 3) розробка методики визначення допустимих похибок витратомірів в вимірювачах G_{exh}^t ;
- 4) порівняння обох способів вимірювання G_{exh}^t за критерієм точності обладнання, що застосовується, і аналіз отриманих результатів.

Порівняння компенсаційного та диференційного способів вимірювання величини G_{exh}^t за критеріями точності та вартості вимірювань. Вимірювання величини G_{exh}^t в міні- та мікротуннелі є одним з етапів процесу визначення масового викиду ТЧ з ВГ дизеля – PT_{mass} (рис. 4.6):

$$PT_{mass} = 10^{-3} \cdot \left(\left(\left(\frac{m_f}{(G_{sam} \cdot \tau_{sam})_a} \right)_b \cdot q \right)_c \right) \cdot G_{exh}, \text{ г/год}, \quad (4.1)$$

де m_f – маса ТЧ, яка зібрана на фільтрах, мг;

$G_t = G_{sam}$ – масова витрата проби розбавлених ВГ, яка пройшла через патрон з фільтром, кг/год;

τ_{sam} – тривалість періоду відбору проб, год;

q – коефіцієнт розбавлення ВГ;

G_{exh} – масова витрата ВГ у вихлопній трубі дизеля, кг/год.

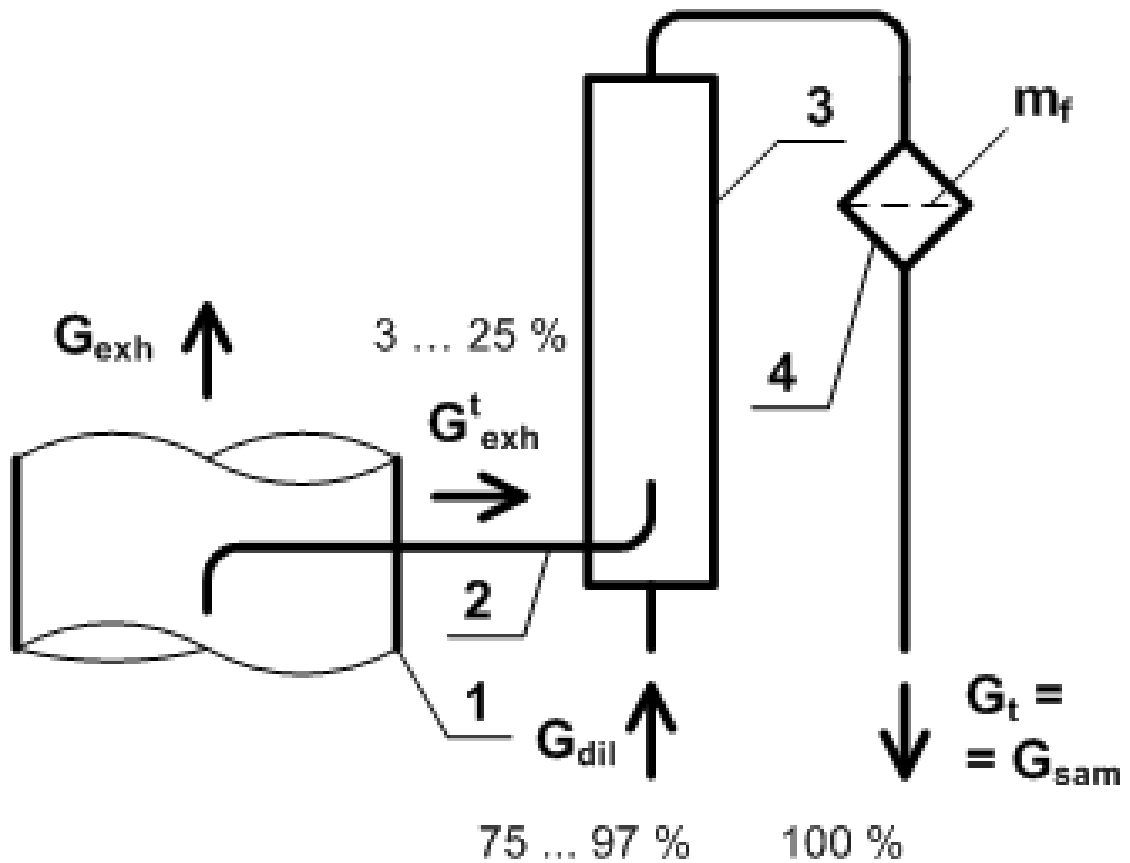


Рисунок 4.6 – Принципова схема процесу визначення масового викиду ТЧ з ВГ дизеля при використанні мікротунеля:

1 – вихлопна труба дизеля; 2 – трубопровід переносу ВГ; 3 – трубопровід розбавлення ВГ (тунель); 4 – патрон з фільтром для відбору ТЧ.

У формулі (4.1) величини, які заключні в круглі дужки, це:

- а) маса проби розбавлених ВГ, що пройшла через фільтр, кг;
- б) масова концентрація ТЧ в розбавлених ВГ, мг/кг;
- с) масова концентрація ТЧ в нерозбавлених ВГ, мг/кг.

Коефіцієнт розбавлення ВГ – q визначається, як відношення масових витрат G_t і G^t_{exh} , причому остання величина визначається непрямым шляхом з причин, вказаних вище:

$$q = \frac{G_t}{G^t_{exh}}. \quad (4.2)$$

При використанні диференційного способу величина q визначається за формулою:

$$q = \frac{G_t}{G_t - G_{dil}}, \quad (4.3)$$

де G_{dil} – масова витрата розбавляючого повітря, кг/год.

При використанні компенсаційного способу використовується наступна формула для обчислення q :

$$q = \frac{G_k + G_{dil}}{G_k},$$

де $G_k = G^{t_{exh}}$ – масова витрата повітря, компенсуючого кількість ВГ, що надходять до тунелю, кг/год.

Основною вимогою до вузлів визначення масової витрати $G^{t_{exh}}$ є забезпечення необхідної точності вимірювань; при цьому відносна похибка вимірювання коефіцієнта q не повинна перевищувати свого допустимого значення – $\delta q_{\text{доп}} = 4\%$.

Принципові схеми обох способів вимірювання $G^{t_{exh}}$, які розглядаються, наведено на рис. 4.1.

При диференційному способі вимірювань величина $G^{t_{exh}}$ визначається, як різниця двох масових витрат: розбавлених ВГ (G_t) та повітря (G_{dil}), які вимірюються витратомірами $B1$ і $B2$. При цьому мала величина $G^{t_{exh}}$ (3...25% від сумарного потоку G_t) обчислюється, як різниця 2-х великих величин – G_t (100%) і G_{dil} (75...97%), для вимірювання яких необхідні вартісні витратоміри підвищеної точності.

При компенсаційному способі вимірювань величина $G^{t_{exh}}$ дорівнює масовій витраті компенсаційного повітря G_k (вимірюється витратоміром $B3$) за умови постійності масової витрати повітря G_{dil} (вимірюється витратоміром $B4$), що забезпечується відповідними регулюючими пристроями. При реалізації даного способу не потрібно витратомірів з високою точністю вимірювань.

Методика визначення допустимих похибок витратомірів диференційного та компенсаційного способів вимірювань величини G_{exh}^t дозволяє оцінити допустимі похибки витратомірів, які використовуються при диференційному і компенсаційному способах виміру G_{exh}^t та забезпечують визначення коефіцієнту q з необхідною точністю. При цьому зроблено допущення про те, що в кожному способі застосовуються витратоміри одного класу точності, тобто:

$$\delta G_{dil} = \delta G_t = \delta B_1, \quad \delta G_{dil} = \delta G_k = \delta B_2.$$

де δG_{dil} , δG_t – похибки витратомірів, які використовуються при диференційному способі і дорівнюють величині δB_1 ;

δG_{dil} , δG_k – похибки витратомірів, які використовуються при компенсаційному способі і дорівнюють величині δB_2 .

В основі методики лежить формула розрахунку відносної похибки вимірювань величини, що визначається непрямим шляхом – (2.13). При цьому нормальність законів розподілу величин δG_{dil} , δG_t і δG_k , що дозволяє використовувати цю залежність, підтверджується дослідженнями на ймовірностному папері. Застосування формули (4.3) до виражень (4.2) та (2.22) з врахуванням зробленого допущення дозволяє встановити допустимі похибки витратомірів для обох способів – B_1 та B_2 :

$$\delta B_{1\partial on} = \frac{0,707}{q-1} \cdot \delta q_{\partial on}, \quad (4.4)$$

$$\delta B_{2\partial on} = \frac{0,707 \cdot q}{q-1} \cdot \delta q_{\partial on}. \quad (4.5)$$

Таким чином має місце співвідношення: $\delta B_{2\partial on} = q \cdot \delta B_{1\partial on}$.

Отримані залежності дозволяють оцінити точність витратомірів, які застосовуються при використанні способів вимірювання величини G_{exh}^t , що розглядаються.

Результати порівняння диференційного і компенсаційного способів вимірювання масової витрати ВГ у тунелі. Коефіцієнт q при використанні

CVS-режиму розбавлення ВГ у тунелі може варіюватись в діапазоні 4...30. З врахуванням цього аналіз залежностей (2.23) і (2.24) показує наступне:

а) для забезпечення потрібної точності вимірювань коефіцієнта q потрібні витратоміри з допустимими похибками $\delta V_{1\text{доп}} = 0,1 \dots 0,2\%$, $\delta V_{2\text{доп}} = 3\%$ (рис. 2.14);

б) при використанні недорогих витратомірів з класом точності 1,5 для компенсаційного способу коефіцієнт q визначається з похибкою у 2...2,5 разів меншою $q_{\text{доп}}$ (рис. 4.7).

Таким чином перехід від диференційного до компенсаційного способу визначення величини G'_{exh} дозволяє зменшити більш ніж у 15 разів вимоги до точності витратомірів і, за рахунок цього, у 5...8 разів знизити вартість вимірювача коефіцієнта розбавлення ВГ (складає до 20% вартості мікротунелю).

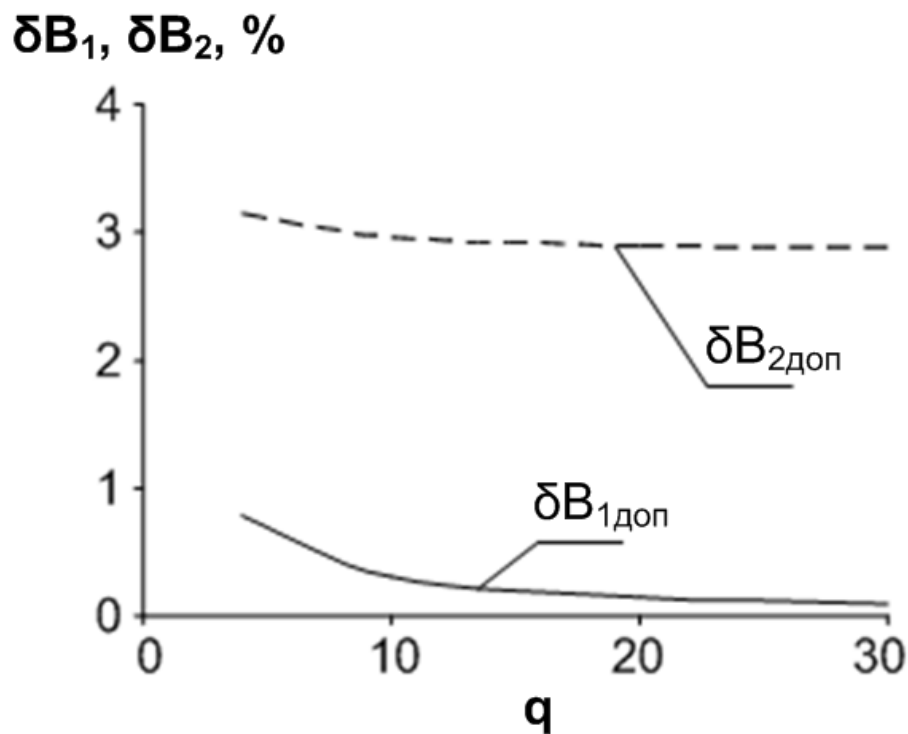


Рисунок 4.7 – Результати порівняння допустимих похибок витратомірів диференційного та компенсаційного способів визначення G'_{exh}

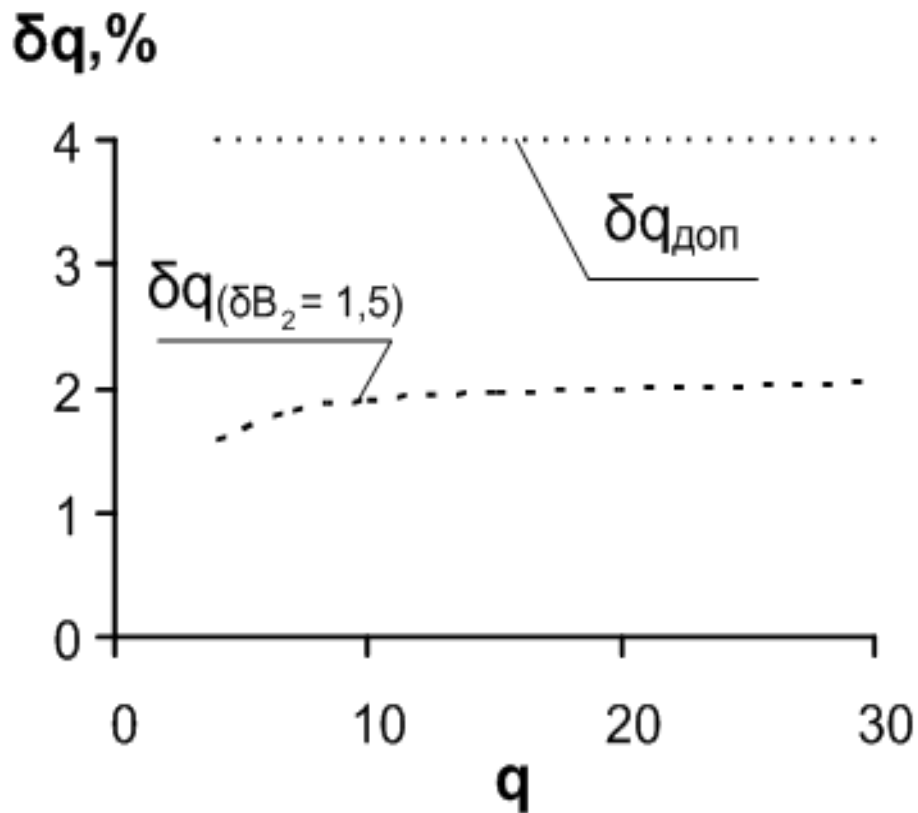


Рисунок 4.8 – Точність визначення q при похибках витратомірів $B_2 - 1,5\%$

Методика визначення величини G^{exh} за допомогою витратомірів компенсаційного способу передбачає вимірювання та регулювання величин G_t та G_{cot} .

Процедура вимірювання масових витрат потоку у тунелі та компенсаційного потоку складається з послідовного виконання наступних операцій.

1. Пряме вимірювання за допомогою відповідних датчиків величин:

- параметрів навколишнього середовища – P_a , t_a та φ_a ;
- розрідження на колекторі – ΔP_k ;
- параметрів газового потоку, що протікає в діафрагмі – t_d , P_d , ΔP_d ;
- тиску – P_{wp} та щільності – ρ_{wp} насиченого пару;

2. Обчислення величин:

- P_{wp} та ρ_{wp} (за допомогою формул ((2.25) і (2.26)));

- v_k та v_d ;
- ρ_a та ρ_d (за допомогою формул ((2.27) і (2.28)));
- ε_k та ε_d (за допомогою формул ((2.29) і (2.30)));

3. Визначення початкових значень масових витрат потоку у тунелі – G_t^1 та компенсаційного потоку – G_{com}^1 :

$$G_t^1 = \bar{\alpha}_k \cdot \varepsilon_k \cdot \frac{\pi \cdot D_k}{4} \cdot (2 \cdot \Delta P_k \cdot \rho_a)^{0,5},$$

$$G_{com}^1 = \bar{\alpha}_d \cdot \varepsilon_d \cdot \frac{\pi \cdot d_d}{4} \cdot (2 \cdot \Delta P_d \cdot \rho_d)^{0,5}.$$

4. Розрахунок величин Re_k та Re_d за допомогою формул (2.31) та (2.32), в які замість G_{t0} та G_{com0} підставляються значення G_t^1 та G_{com}^1 .

5. Визначення уточнених значень коефіцієнтів α_k та α_d за допомогою калібрувальних залежностей (2.36) та (2.37).

6. Встановлення уточнених значень масових витрат потоку у тунелі та компенсаційного потоку:

$$G_t = G_k^1 \cdot \frac{\alpha_k}{\bar{\alpha}_k},$$

$$G_{com} = G_{com}^1 \cdot \frac{\alpha_d}{\bar{\alpha}_d}.$$

Регулювання масових витрат G_t та G_{com} здійснюється за наступним алгоритмом (рис. 4.9):

– при закритих клапанах 4 і 7 газодувкою об'ємного типу 11 створюється масова витрата G_t та підтримується постійною протягом всього циклу (при використанні режимів розбавлення ВГ *DM1* і *DM3*) або режиму випробувань (при використанні режимів розбавлення ВГ *DM2* і *DM4*); контроль даної величини здійснюється витратоміром 12, а її регулювання (методом перепустки частки потоку) – клапаном 13; постійність масової витрати G_t забезпечується типом газодувки та підтримкою на заданих рівнях температури (регулюється теплообмінником 8 з точністю ± 1 °C) та статичного тиску (регулюється клапаном 10 з точністю $\pm 0,1$ кПа) газового потоку, який вона створює;

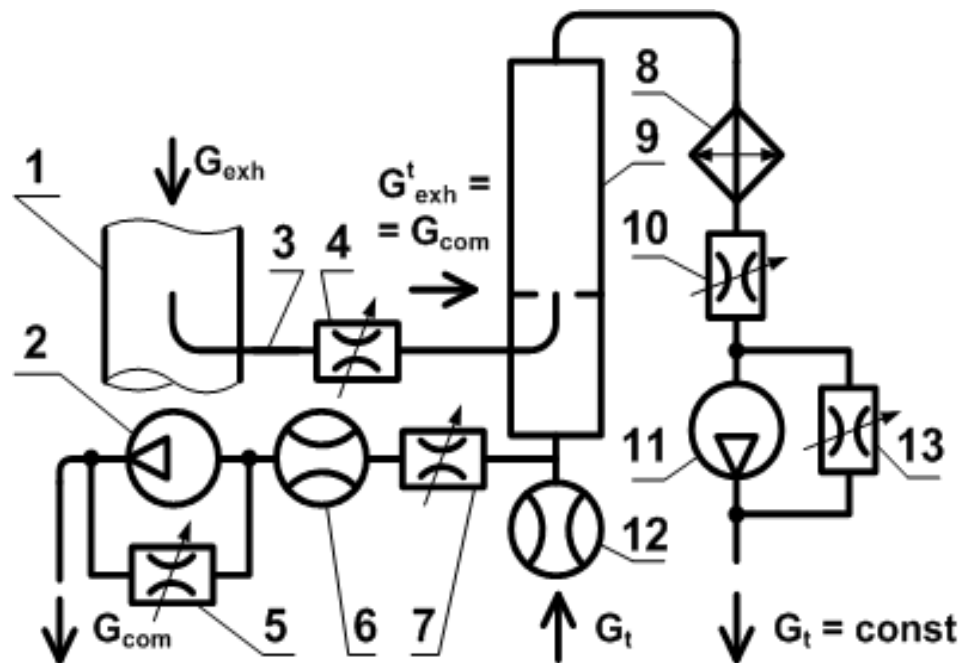


Рисунок 4.9 – Принципова схема компенсаційного способу вимірювань G_{exh}^t
 1 – вихлопна труба лизеля; 2 – штатні газодувки; 3 – трубопровід транспортування ВГ; 4, 5, 7, 10 і 13 – регулюючі клапани; 6, 12 – витратоміри; 8 – теплообмінник; 9 – розбавляючий тунель.

– відкривається клапан 7 та газодувкою 2 створюється потрібна масова витрата компенсаційного потоку G_{com} ; контроль цієї величини здійснюється витратоміром 6, а її регулювання (методом перепустки частини потоку) – клапаном 5;

– відкривається клапан 4 і за рахунок перепаду статичних тисків між вихлопною трубою та трубопроводом розбавлення ВГ у тунель потрапляє частка ВГ з масовою витратою G_{exh}^t ; при цьому клапан 4 переводиться у таке положення, при якому масова витрата потоку через витратомір 12 складає G_t ; це забезпечує рівність масових витрат G_{com} та G_{exh}^t , що підтверджується рівнянням матеріального балансу потоків, які протікають у тунелі:

$$G_t^{(газодувка)} + G_{com} = G_t^{(колектор)} + G_{exh}^t.$$

Ліва частина цього рівняння відображає суму потоків, які потрапляють у тунель, права частина – які витікають з нього.

Експериментальне оцінювання точності компенсаційного способу вимірювань величини G^t_{exh} . В трубопроводі транспортування проби 3 між пробовідбірником та регулюючим клапаном 4 було встановлено контрольний витратомір – газовий лічильник РГ-40, який контролював масову витрату проби, що відбиралася і потрапляла до тунелю, – G^t_{exh} з відносною похибкою, що не перевищувала $\pm 1\%$ (табл. 4.1, рис. 4.10) .

Таблиця 4.1 – Результати оцінки точності компенсаційного способу контролю G^t_{exh}

Серія	G_t , г/с	δG_t , %	G_{com} , г/с	G^t_{exh} , г/с	$G_{com} - G^t_{exh}$, г/с	δG^t_{exh} , %
1	24,018	0,08	1,909	1,879	0,03	1,6
	24,011	0,05	3,852	3,936	-0,084	-2,1
	24,078	0,32	4,807	4,831	-0,024	-0,5
	24,023	0,10	2,884	2,957	-0,073	-2,5
	24,061	0,25	1,304	1,35	-0,046	-3,4
2	24,104	0,43	3,081	3,045	0,036	1,2
	24,063	0,26	4,837	4,947	-0,11	-2,2
	23,926	-0,31	1,998	2,021	-0,023	-1,1
	23,937	-0,26	3,84	3,778	0,062	1,6
	24,009	0,04	1,338	1,348	-0,01	-0,7
3	23,989	-0,05	1,175	1,214	-0,039	-3,2
	23,881	-0,50	2,907	2,852	0,055	1,9
	24	0,00	3,767	3,794	-0,027	-0,7
	24,036	0,15	2,051	2,037	0,014	0,7
	23,974	-0,11	4,773	4,766	0,007	0,1
	24,018	0,08	1,909	1,879	0,03	1,6

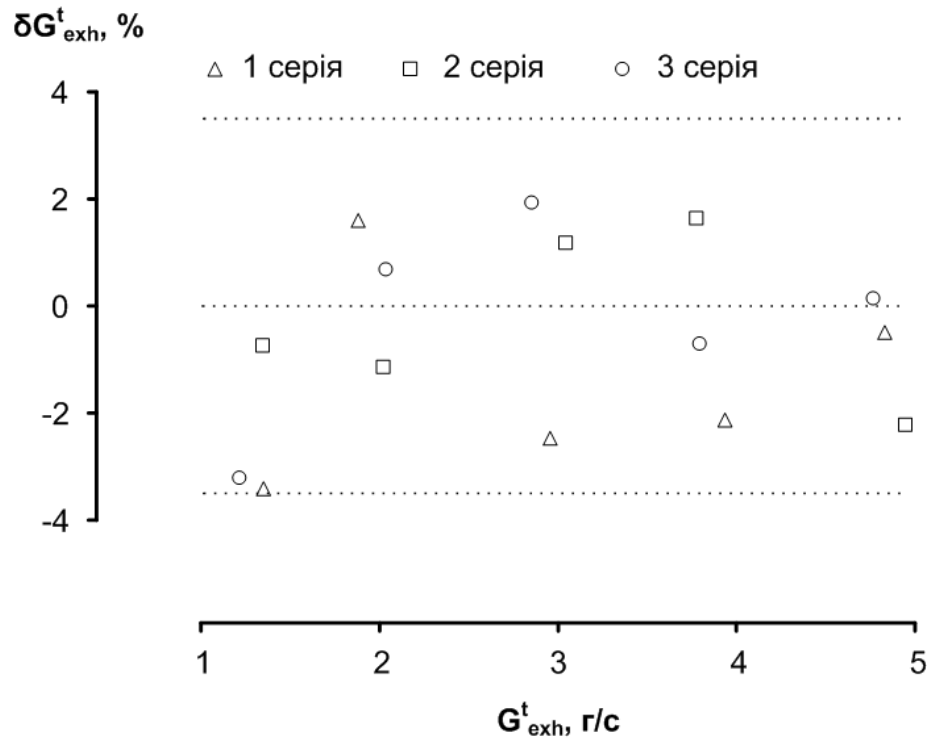


Рисунок 4.10 – Відносна похибка вимірювань масової витрати G_{exh}^t

Проведено 3 серії випробувань, в ході яких масова витрата G_t (що створювалась газодувкою 11, регулювалась клапаном 13 та вимірювалась колектором 12) підпримувалась постійною на заданому рівні – 24 г/с, а масова витрата G_{com} (що створювалась газодувкою 2, регулювалась клапаном 2 та вимірювалась діафрагмою 6) варіювалась в рандомізованому порядку на 5 рівнях: 1,4, 2, 3, 4 та 5 г/с (відповідні об'ємні витрати складали: 70, 100, 150, 200 та 250 лн/хв).

За результатами випробувань визначено відносні відхилення масової витрати потоку в тунелі від заданого рівня – δG_t та відносну похибку вимірювань масової витрати проби, яка відбиралася – δG_{exh}^t .

Отримані результати довели ефективність запропонованого способу вимірювань величини G_{exh}^t – у всьому діапазоні варіювання масової витрати G_{com} відносна похибка δG_{exh}^t не перевищує допустимого значення – 3,5% (при цьому відхилення масової витрати G_t від заданого рівня не перевищують $\pm 0,5\%$).

4.2 Розробка та дослідження ізокінетичного пробовідбірника ВГ для системи екологічної діагностики ДВЗ

Випробувальний стенд для досліджень ізокінетичного режиму відбору проби (рис. 4.11) дозволяє визначати перепад статичних тисків ΔP_{ik} при рівних швидкостях потоків робочого тіла (повітря) у ІКП та РТ в умовах імітації роботи тунеля. Для цього стенд оснащений: газодувкою ГД з масовою витратою 60...170 кг/год; масовими витратомірами ВМ1 та ВМ2; нагрівачем робочого тіла Н до температури 160 °С; генератором пульсацій тиску ГП з амплітудою до ± 500 Па та частотою до 25 Гц; спеціально розробленим датчиком різниці тисків з діапазоном вимірювань ± 500 Па та похибкою ± 2 Па; регулятором тиску у тунелі РК в діапазоні $0 \dots \pm 2,5$ кПа.

Як показали попередні дослідження, величина ΔP_{ik} відрізняється від нульового значення та залежить від швидкісного напору потоку у РТ:

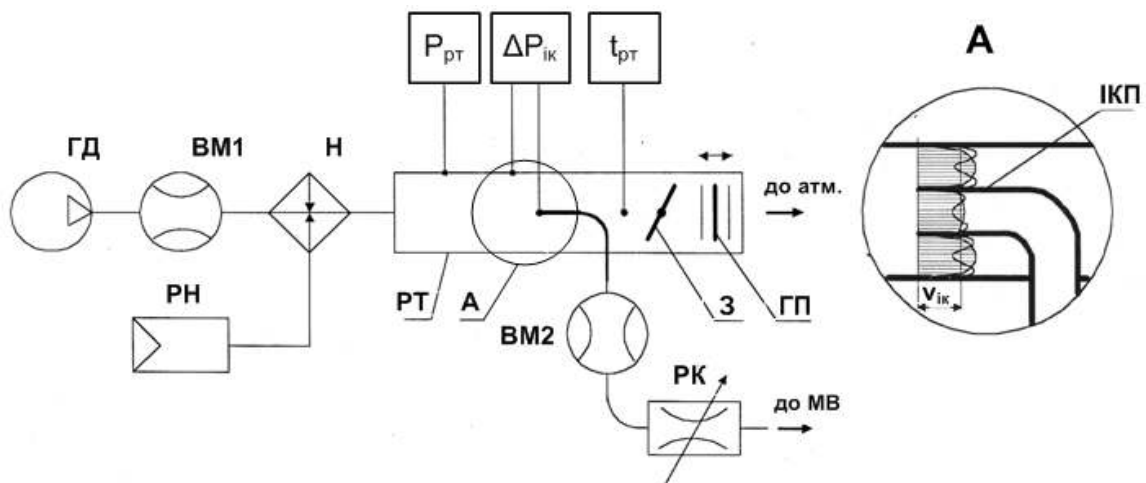


Рисунок 4.11 – Схема стенду для досліджень ізокінетичного відбору проби

$$P_1 + \alpha_1 \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \alpha_2 \cdot \frac{\rho v_2^2}{2} ;$$

$$\text{при } v_1 = v_2 = v: \Delta P_{ik} = P_1 - P_2 = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \frac{\rho v^2}{2},$$

де $P_1, (\rho v^2_1)/2$ та $P_2, (\rho v^2_2)/2$ – статичні тиски та швидкісні напори потоків у ІКП та РТ, відповідно, Па;

α_1, α_2 – коефіцієнти, які враховують нерівномірність розподілу швидкостей в перетинах цих трубопроводів.

З урахуванням даної обставини на стенді визначалась експериментальна залежність $\Delta P_{ik} = f((\rho v^2)/2)$ для стаціонарного газового потоку та досліджувався вплив на неї таких факторів, як варіювання температурного режиму, надлишкового тиску та пульсацій потоку у РТ.

В результаті проведення 3-х серій дослідів з варіюванням швидкості, температури та надлишкового тиску у РТ в діапазонах 8,2...23,0 м/с, 20...155 °С та 0,4...2,2 кПа встановлено експериментальну залежність величини ΔP_{ik} від швидкісного напору (досліджувався в діапазоні 40...300 Па) для стаціонарного потоку робочого тіла (рис. 4.12):

$$\Delta P_{ik} = 0,161 \cdot \frac{\rho v^2}{2} - 4,7.$$

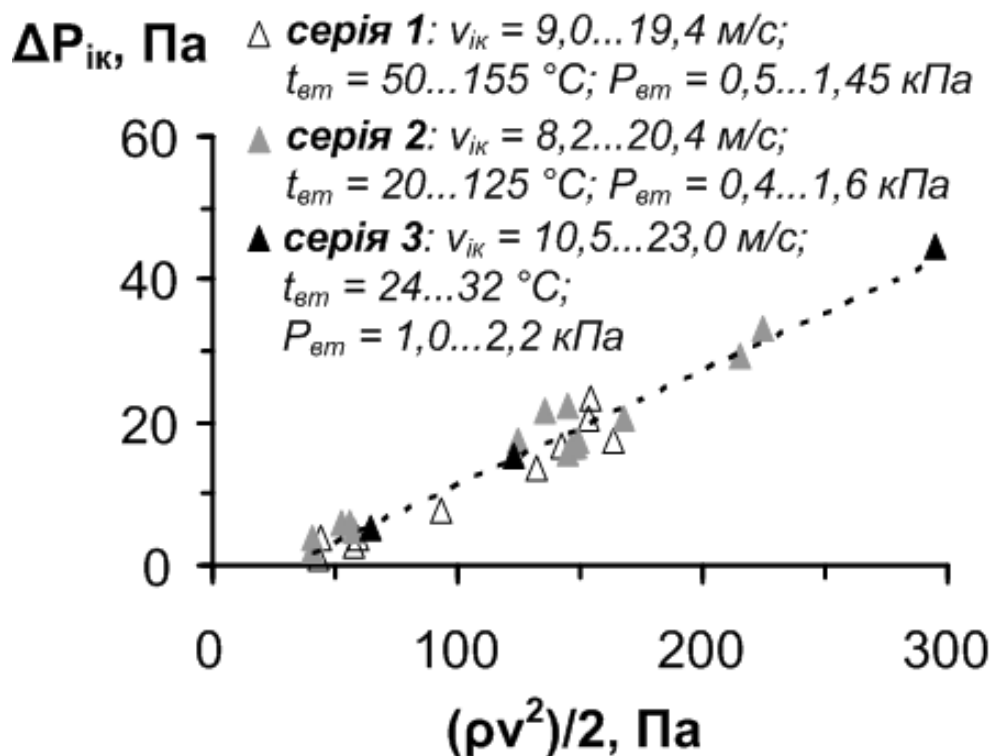


Рисунок 4.12 – Результати досліджень ізокінетичного режиму відбору проби

Використання цієї формули в умовах пульсацій тиску у РТ неможливе із-за суттєвих відхилень режиму відбору від ізокінетичного. Так, при коливаннях тиску у РТ з амплітудою $\pm 0,25 \dots 0,5$ кПа і частотою 16...24 Гц відхилення швидкостей потоків в ІКП і РТ складають 7...13%. На стенді дизеля 4ЧН12/14 отримано експериментальну залежність, яка враховує реальні умови випробувань:

$$\Delta P_{ik}^{real} = \Delta P_{ik} + \Delta_{ik}(\bar{n}, \bar{L})$$

де $\Delta_{ik}(\bar{n}, \bar{L}) = 3,0 + 0,5 \cdot \bar{n} - 2,3 \cdot \bar{n} \cdot \bar{L}$ - поправка, яка враховує режим роботи дизеля.

4.3 Експериментальне відпрацювання мікротунелю МКТ-2 на гальмівному стенді автомобільного дизеля 4ЧН12/14

При монтажі МКТ- 2 на стенді дизеля 4ЧН12/14 забезпечено зручні умови керування цієї вимірювальної системи (рис. 4.13).

Згідно вимог нормативних документів [11] при відборі проб ТЧ пробовідбірник мікротунелю необхідно встановлювати у прямолінійній ділянці вихлопної труби таким чином, щоб він розташовувався на осьовій лінії трубопроводу назустріч потоку ВГ; при цьому прямолінійні ділянки трубопроводу перед пробовідбірником та після нього повинні складати не менш ніж $6D$ та $3D$, відповідно (D – внутрішній діаметр вихлопної труби). Для виконання цієї вимоги на гальмівному стенді встановлено необхідну прямолінійну ділянку, з якої здійснювався відбір проб ТЧ до МКТ-2 (рис. 4.14).

Вимірювальний комплекс використовувався при проведенні наступних випробувань [14]:

а) дослідницьких випробувань, в ході яких визначались масові та питомі викиди ТЧ на окремих режимах роботи дизелю (рис. 4.15);

б) дослідницьких випробувань, в ході яких проводилось порівняння рівнів викидів ТЧ на стаціонарних та перехідних режимах роботи дизелю (рис. 4.16);

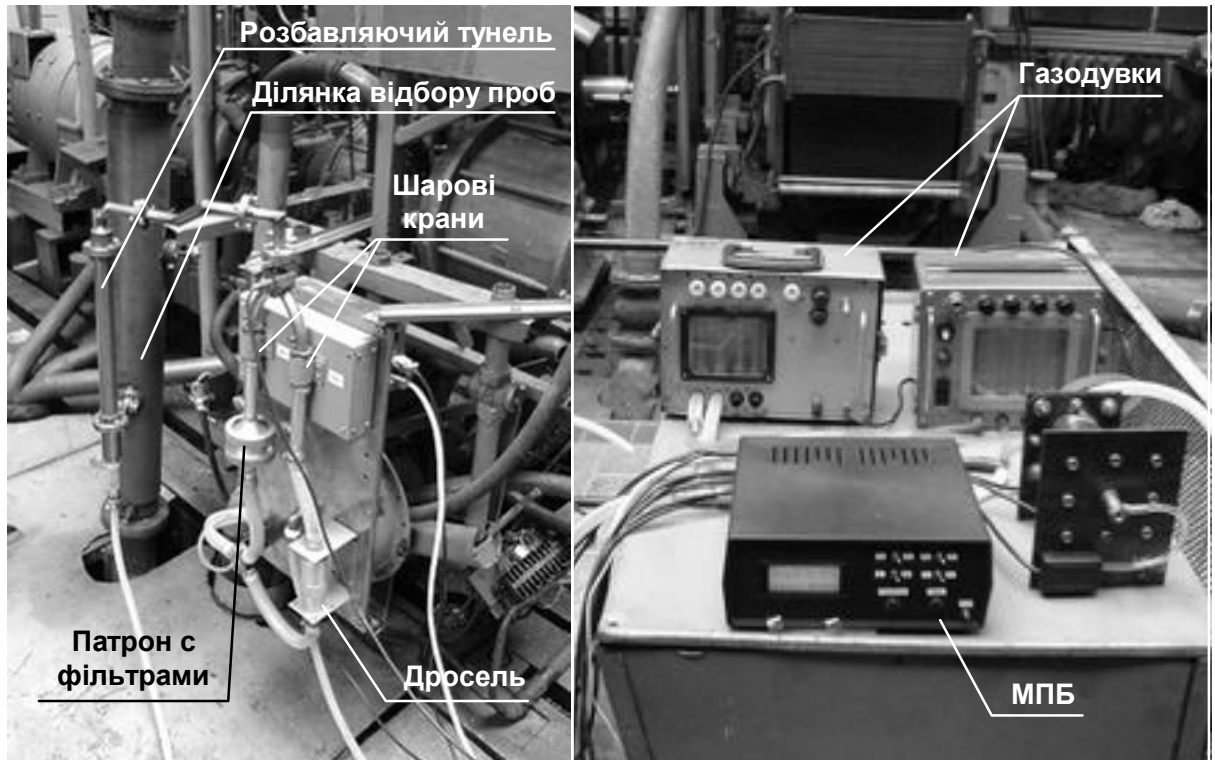


Рисунок 4.13 – Розташування елементів МКТ-2 на стенді дизеля 4ЧН12/14

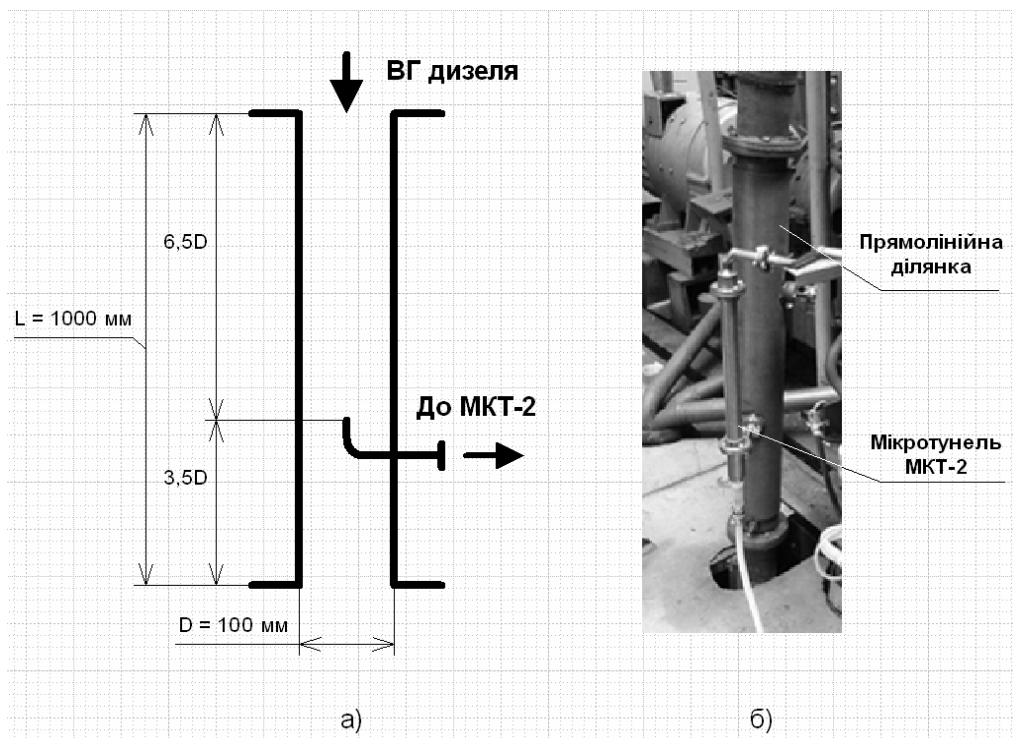
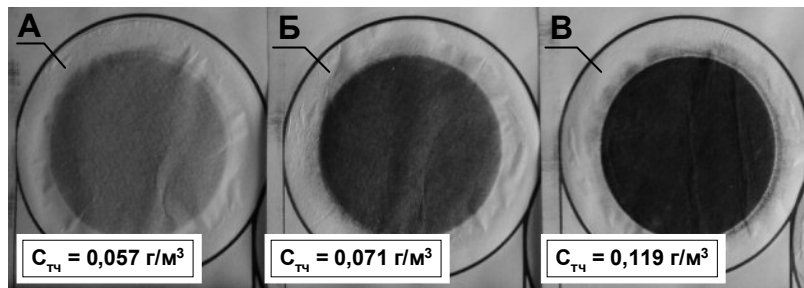
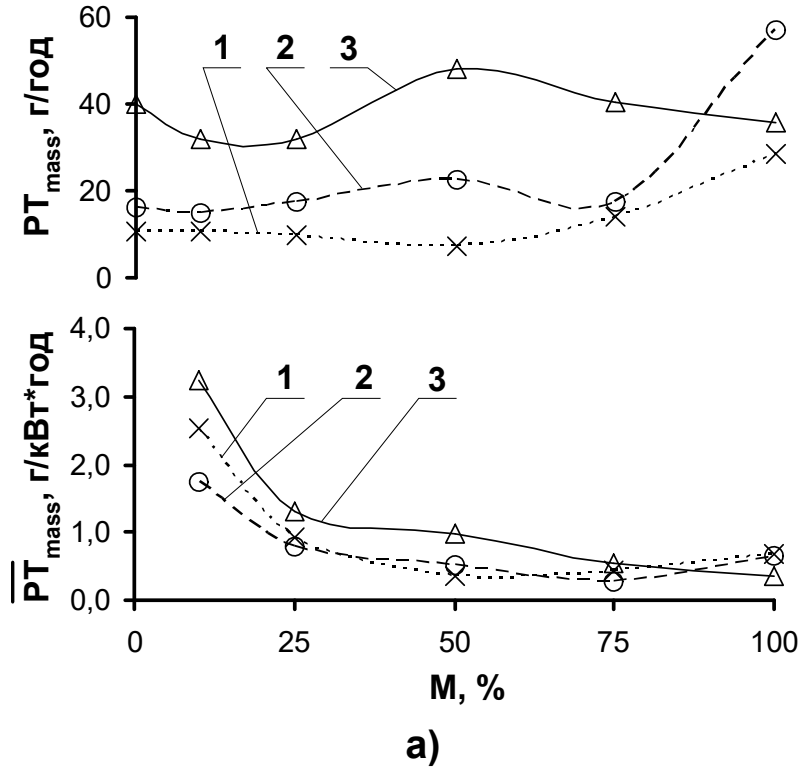


Рисунок 4.14 – Прямолінійна ділянка з випускної системи дизеля

а – схема встановлення пробовідбірника ВГ;

б – монтаж прямолінійної ділянки вихлопної труби з МКТ-2.

в) випробувань, які імітували сертифікаційну процедуру – Європейський 13-ступінчатий цикл, в ході якої визначався середньоексплуатаційний масовий викид ТЧ дизелем (рис. 4.17).



б)

Рисунок 4.15 - Результати вимірювань викидів ТЧ на окремих режимах роботи дизелю:

а) вплив навантаження L та швидкості n на масові та питомі викиди ТЧ: 1 - $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$;

б) фільтри з ТЧ, які були зібрані на режимах холостого ходу, середньої і номінальної потужності.

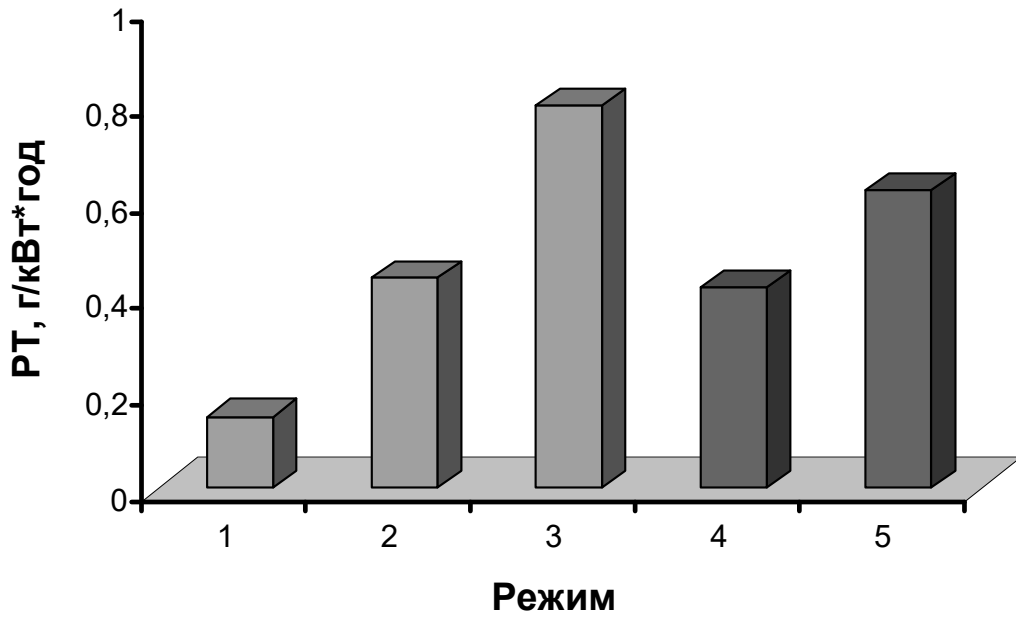


Рисунок 4.16 - Результати вимірювань питомих викидів ГЧ дизелем 4ЧН12/14 (СМД-23)

Стационарні режими: 1-й: $n = 1200 \text{ хв}^{-1}$, $M = 139,7 \text{ Н*м}$ (30% від M_{\max}); 2-й: $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$, $M = 327,9 \text{ Н*м}$ (70% від M_{\max}); 3-й: $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$, $M = 467,7 \text{ Н*м}$ (100% від M_{\max});
перехідні режими: 4-й: перехід з 1-го на 2-й режим; 5-й: перехід з 2-го на 3-й режим.

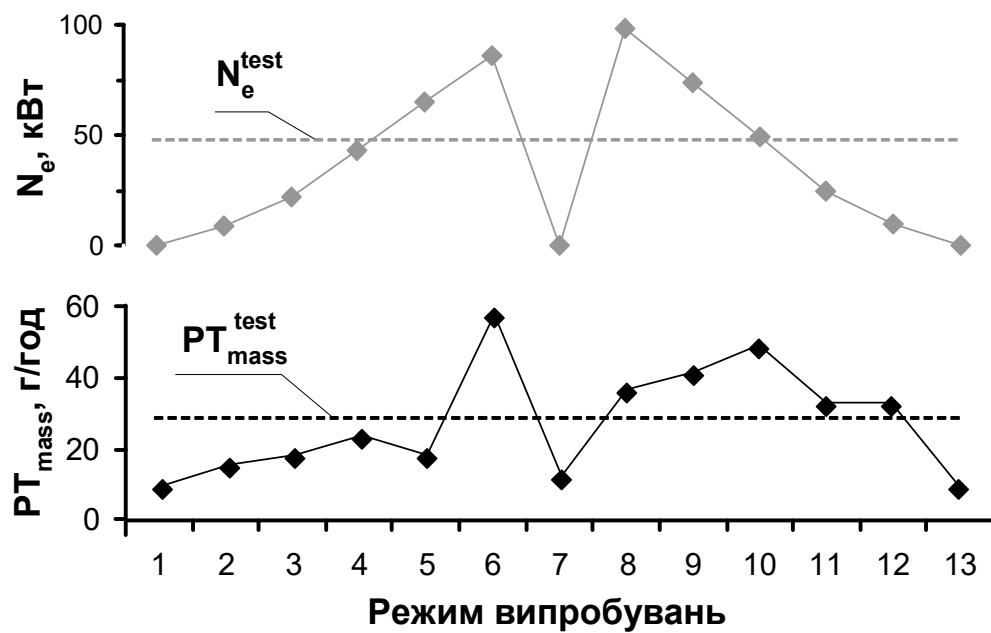


Рисунок 4.17 - Результати випробувань ДВЗ по 13-ступінчатому циклу

У цілому в ході експериментального відпрацювання вимірювального комплексу проведено більш ніж 80 вимірів масових викидів ТЧ з ВГ дизелю.

Випробування показали відповідність показників ефективності мікротунелю (точності вимірювань, швидкодії) розрахунковим значенням та продемонстрували придатність розробленого обладнання для проведення вимірювань викидів ТЧ на стаціонарних та перехідних режимах роботи дизелю та при його циклових випробуваннях. Дослідження продемонстрували практичну придатність мікротунеля МКТ-2 для використання його в якості системи підготовки проби розбавлених ВГ до динамічних вимірювань та калібрування динамічного детектору ТЧ.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Загальні питання охорони праці. Шкідливі і небезпечні виробничі чинники, їх класифікація

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально - профілактичних заходів засобів, що направлені на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці (Закон України «Про охорону праці» від 22 листопада 2002 р.).

Задачею охорони праці є зведення до мінімуму вірогідності уражень або захворювань працюючих з одночасним забезпеченням нормальних умов праці при її максимальній продуктивності, науковий аналіз умов праці, виробничих процесів, а устаткування з погляду можливих аварійних ситуацій, появи небезпечних чинників, виділення шкідливих речовин. На основі такого аналізу визначаються небезпечні ділянки виробництва, можливі аварійні ситуації, розробляються заходи щодо їх запобігання або обмеження наслідків.

У даному дипломному проекті розглянуті питання забезпечення охорони праці і навколишнього середовища на стадії проектування автомобільного двигуна для робочого місця інженера-конструктора. Розглянемо робоче місце конструктора. На робочому місці повинні бути створені певні умови праці, гарантовані Законом України «Про охорону праці». Перелік шкідливих виробничих чинників приведений в таблиці 5.1.

Під шкідливими виробничими чинниками розуміють чинники, тривалість дії яких на працюючу людину призводить до патологічних змін в організмі людини, або до професійних захворювань. Небезпечні виробничі чинники, це чинники, вплив яких на працюючу людину викликає травму, або летальний результат.

Таблиця 5.1 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників на робочому місці

Найменування	Джерело виникнення шкідливого чинника	Характер дії людини	Нормативний характер і нормативне значення	Нормативні документи, що регламентують допустимий рівень чинника
Мікроклімат	Виділення тепла від ЕОМ	Дискомфорт, швидка стомлюваність	Повітря 22-24С, Відносна вологість 40-60 %, швидкість руху повітря 0,2 м/с	ГОСТ 12.1.007-76
Освітлення робочого місця	Недостатнє природне освітлення з бічних отворів	Втомленість зору, швидка стомлюваність	Природне освітлення $e=1,5\%$ штучне освітлення $E_{гп}=300лк$	ДБН В.2.5-28:2018
Підвищений шум	Робота вентиляторів в ЕОМ	Нервозність, підвищена стомлюваність	Рівень шуму (за шкалою А) дБА 60	
Наявність статичної електрики	Монітори ЕОМ	Удари електричним струмом		
Електромагнітне випромінювання	Лінії електропередач	Головні болі, нудота	1) по магнітній складовій $H < 0,3 А/м$; 2) по електричній складовій $EЕ 10 В/м$.	

5.2 Промислова санітарія

Мікроклімат — метеорологічні умови внутрішнього середовища приміщень, які визначаються діючими на людину поєднаннями температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання.

Параметри мікроклімату відповідно до ГОСТ 12.1.007-76 з урахуванням категорії робіт по енерговитратах для теплового і холодного періодів року приведені в таблиці 5.2, категорія робіт – 1а. В таблиці 5.3 наведено рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ЕОМ.

Таблиця 5.2 — Нормативні параметри мікроклімату для приміщень

Пора року	Категорія робіт згідно з ГОСТ 12.1.005-88	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		оптимальна	оптимальна	оптимальна
Холодна	легка — 1 а легка	22 - 24	60 - 40	0,1
	— 1 б	21 - 23	60 - 40	0,1
Тепла	легка — 1 а легка	23 - 25	60 - 40	0,1
	— 1 б	22 - 24	60 - 40	0,2

Таблиця 5.3 — Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ЕОМ

Рівні	Кількість іонів на 1 см повітря	
	п ⁺	п ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500 — 3000	3000 — 5000
Максимально допустимі	50000	50000

Відповідно до ГОСТ 12.1.007-76 вміст озону у повітрі робочої зони не повинен перевищувати 0,1 мг/м³; вміст оксидів азоту – 5 мг/м³; вміст пилу – 4 мг/м³.

Оптимальні умови досягаються в холодний час центральним опалюванням, а в теплий час вентиляторами і кондиціонерами. Згідно з вимогами до вентиляції, опалення та кондиціювання, мікроклімату приміщення з ЕОМ повинні бути обладнані системами опалення, кондиціювання повітря або припливно-витяжною вентиляцією.

Природне освітлення на робочому місці представлено одностороннім бічним світлом. Система штучного освітлення є загальною рівномірною.

Розряд зорових робіт середньої точності, нормовані значення КПО і освітленості на робочих поверхнях приведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розряд зорових робіт

Мінімальний розмір об'єкту розрізнення, мм	Розряд зорових робіт	Характеристика фону	Контраст об'єкту фоном	Підрозряд зорових робіт	Нормативне значення освітлення	
					Природне, КПО %	Штучне, лк
0,5...1,0	IV	світлий	середній	в	1,5	300

Розрахунок штучного освітлення здійснюється методом коефіцієнту використання світлового потоку.

Основна розрахункова формула метода, який розглядається, має вигляд:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{min}} * K * S * Z}{N * \eta * \eta}$$

де $\Phi_{\text{л}}$ = 1995 лм — світловий потік лампи (або ламп) у світильнику;

$E_{\min} = 400$ лк — номінальна нормована освітленість;

$K = 1,4$ — коефіцієнт запасу; N — кількість світильників;

$n = 2$ — кількість ламп у світильнику;

$n = 0,45$ — коефіцієнт використання світлового потоку (у частках одиниці);

Z — коефіцієнт мінімальної освітленості;

$S = 16$ — площа приміщення, м².

Величину мінімальної нормативної освітленості E_{\min} вибираємо за таблицею нормування штучного освітлення в залежності від призначення приміщення, розмірів об'єкта розрізнення, контрасту предмету із фоном, а також яскравість фону. Коефіцієнт запасу K враховує старіння ламп, забруднення та старіння світильників, забруднення поверхонь, що оточують світильник.

Коефіцієнт мінімальної освітленості Z :

- при освітленні лампами накаливання та ДРЛ $Z = 1,15$;
- при освітленні лампами люмінесцентними $Z = 1,1$.

Коефіцієнт використання світлового потоку ρ являє собою відношення потоку, що падає на поверхню, до суммарного з усіх ламп. Значення ρ визначають для кожного виду світильників в функції індексу приміщення i та значення коефіцієнтів відбиття потоку та. Зазвичай для світлих адміністративно-конторських приміщень коефіцієнти відбиття приймаються рівними, %:

$$\rho_n = 70; \quad \rho_e = 50; \quad \rho_p = 30.$$

Індекс приміщення вираховується за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A+B)}, \text{ де}$$

де h — розрахункова висота, м;

$A = 4$ м, $B = 4$ м — довжина та ширина приміщення;

Тип лампи — ЛБ40-4 (лампа люмінесцентна ртутна низького тиску). Тип світильника — ПВЛМ2*40

При освітленні рядами люмінесцентних світильників до розрахунку приймається кількість рядів, а також тип та потужність лампи, що і визначає світловий потік Φ_q .

Основним джерелом шуму при роботі за комп'ютером є вентилятори охолодження, які знаходяться у системному блоці ЕОМ. Шум від вентиляторів в системі охолодження комп'ютера постійного рівня, зміна в часі не більше 60 дБА. Захист від шуму проводиться шляхом віддалення системного блоку від працівника і вживанням засобів звукопоглинання.

Також існують санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора, ці норми наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора

Нормативні значення віброприскорення, дБ, в напрямках X_o , Y_o для середньо - геометричних частот смуг, Гц					
2	4	8	16	31,5	63
86	83	83	89	95	101

Монітор комп'ютера є джерелом статичної електрики, оскільки в ньому використовується напруга (14...25 кВ). Захист від статичної електрики припускає вживання спеціальних екранів і заземлення комп'ютера.

Дія електромагнітного випромінювання на людину залежить від напруженості електричного і магнітного полів, частоти коливань, розміру опромінюваної поверхні тіла і індивідуальних особливостей людини.

Вимоги щодо допустимих значень неіонізуючого електромагнітного випромінювання:

1. Напруга електромагнітного поля на відстані 50 см від джерела по електричній складовій не повинна перевищувати:

- в діапазоні частот 5 кГц - 2 кГц - 25 В/м;
- в діапазоні частот 2 кГц - 400 Гц - 2,5 В/м.

2. Густина магнітного потоку не повинна перевищувати:

- в діапазоні частот 5 кГц - 2 кГц - 250 нТл;
- в діапазоні частот 2 кГц - 400 Гц - 25 нТл.

3. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500 В.

4. Потужність дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану і інших поверхонь випромінювання не повинна перевищувати 100 мкР/год.

Захисні заходи припускають вживання екранування електромагнітного випромінювання, а також установку поглинаючого екрану між джерелом і робітником.

5.3 Електробезпека. Пожежна безпека. Охорона навколишнього середовища

Електробезпека. По ступеню небезпеки поразки людини електричним струмом кімната відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою поразки людини електричним струмом, згідно, тому що є можливість одночасного доторкання людини до з'єднань із землею металевих конструкцій будинків з однієї сторони та до металевих конструкцій електричного обладнання з іншої сторони. Приймаємо I клас захисту від поразки електричним струмом обслуговуючого персоналу тому, що комп'ютер має робочу ізоляцію й елементи заземлення .

Живлення здійснюється змінним струмом від мережі із частотою 50Гц, напругою 220 В. Режим нейтралі — глухо заземлена нейтраль. Споживана потужність комп'ютера - 330Вт.

Пожежна безпека. Правовою основою діяльності в області пожежної безпеки є Конституція, закон України «Про пожежну безпеку» та інші закони

України, ухвалення Верховної Ради України, постанови Кабінету Міністрів і Президента та ін.

Ступінь вогнестійкості приміщення під конструкторське бюро II, категорія В. Тип і необхідна кількість первинних засобів пожежогасіння на робочому місці:

- площа приміщення 16 м²;
- вогнегасник вуглекислотний ОВ -2 – 2 шт.

Згідно з приміщення з ЕОМ повинні бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації. Пожежна автоматика будівель і споруд з димовими пожежними оповісниками і переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимої концентрації вогнегасної рідини, відповідно вимогам «Правил пожежної безпеки в Україні».

Охорона навколишнього середовища. Види матеріальних і енергетичних забруднень, джерелом яких може бути проєктований двигун: витоки палива; витоки моторного масла; викид шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна; шум і вібрація при роботі двигуна.

Для усунення витоків палива і моторного масла необхідно своєчасно проводити технічне обслуговування, регламентний і експлуатаційний ремонт двигуна. Для зниження шуму і вібрації застосовуються шумоізоляція і віброізоляція елементів двигуна.

Для утилізації відпрацьованих газів використовується термічні і каталітичні нейтралізатори, вмонтовані в системи випуску; токсичність при цьому може бути зменшена на 70...90 %.

Вживання всіх цих заходів і засобів дозволяє значно знизити забруднення навколишнього середовища.

Таким чином в розділі розглянуті питання охорони праці, системи цивільного захисту в ВНТУ, проаналізовано медичний, біологічний та психологічний захист забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя працівників ВНТУ.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано фактори негативного впливу відпрацьованих газів автомобілів на навколишнє середовище. Систематизовано нормовані екологічні показники автомобілів – питомі викиди шкідливих речовин – CO, CH, NO_x та твердих частинок з відпрацьованими газами двигуна.

2. Досліджено організаційні, методологічні та технічні заходи з екологізації автомобільних двигунів. Систематизовано вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 та стандарту ISO 8178 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників автомобілів; розглянуто принцип дії та основні елементи систем екологічного діагностування автомобілів - мінітунелів.

3. Проведено аналіз технологій екологічного діагностування автомобілів за нормованими показниками токсичності відпрацьованих газів. Рекомендовано інноваційні засоби і методи контролю параметрів вимірювальних систем, в результаті використання яких підвищується ефективність екологічного діагностування автомобілів.

4. Розроблено та експериментально відпрацьовано на безмоторному та моторному випробувальних стендах методику підвищення ефективності інноваційних систем екологічного діагностування автомобільних дизелів – мінітунелей з ізокінетичним пробовідбірником.

5. Теоретично обґрунтовано доцільність використання у частковопоточних тунелях компенсаційного способу визначення масової витрати ВГ, які поступають в тунель, замість найбільш розповсюдженого диференційного способу (використовується у мікротунелі AVL SPC 472), що дозволяє більш ніж у 15 разів збільшити допустимі похибки витратомірів вимірювача коефіцієнту розбавлення ВГ та у 5...8 разів зменшити його вартість.

6. Розроблено рекомендації щодо забезпечення регламентованої точності ізокінетичного методу відбору проби при випробуваннях автомобільних дизелів на гальмівних стендах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К.: НАУ, 2017. – 507 с.
2. Burtscher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines / H. Burtscher // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL/GRPE . Fachhochschule Aargau, University of Applied Science, Windisch, Switzerland. - March 2021. – 45 p.
3. Anderson J.D. UK Particle Measurement Programme. Phase 2 / Heavy Duty Methodology Development / J.D. Anderson // Final Report.– Ricardo Consulting Engineers Ltd. – 2013, August. – 222p.
4. Tsugio Abe. Particulate matter emission characteristics under transient pattern driving / Abe Tsugio, Sato Tatsuji, Hayashida Morimasa // SAE Techn. Pap. Ser. – 1989. - №890468. – P. 151-163.
5. MacDonald J.C. Status of diesel particulate measurement methods / J.C. MacDonald, N.J. Barsik // SAE Techn. Pap. Ser. – 1984. - № 840345. – P. 1-20.
6. Seito Keizo. The measurement of diesel particulate emissions with tapered element oscillating microbalance and an opacimeter / Keizo Seito, Shinozaki Osamu // SAE Techn. Pap. Ser. – 1990. - № 900644. – P. 1-5.
7. Oswald M. Die dynamische Partikelmessung ein notwendiges Hilfsmittel bei der Entwicklung von Dieselmotoren / M. Oswald, F. Nunnemann // VDI-BER. – 1988. – № 681. – P. 365-377.
8. Andersson J.D. UK Particle Measurement Programme. Phase 1 / Heavy Duty Methodology Development / J.D. Andersson // Final Report. – Ricardo Consulting Engineers Ltd., 2022, July. – 136 p.
9. Измерения в промышленности. Справочник. Кн. 1. Теоретические основы / Под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1990. – 492 с.
10. 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 Techn. Pap. Ser., 2001. - № 010146. – 8 p.

11. Полив'янчук А.П. Нові методи контролю екологічного показника масового викиду твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля / А.П. Полив'янчук, І.М. Свистун, К.О. Гречишкіна, О.О. Холкіна // Тезиси докладов межд. научно-технической конференции «Университетская наука 2011». – 2011, Т.2. – С. 92-93.

12. Regulation No 49. Revision 6. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positiveignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) 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. – United Nations Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/TRANS/505, 2014. – 194 p.

13. Білявський Г.О. Основи загальної екології / Білявський Г.О., Падун М.М., Фурдуй Р.С. – Київ: Либідь, 1993. – 234 с.

14. Оценка точности определения концентрации сажи по показаниям дымомера. Grenzen der Russmassenbestimmung aus optischen Transmissionsmessungen. Hardenberg Horst, Albrecht Hans. “MTZ: Motortechn. Z.”, 1987, №2. - P. 51 – 54.

15. Parsadanov I. Complex Assessment of Fuel Efficiency and Diesel Exhaust Toxicity. / I. Parsadanov, A. Marchenko, M. Tkachuk, S. Kravchenko, A. Polyvianchuk et al. // SAE Technical Paper 2020-01-2182, 2020. – 9 p. <https://doi.org/10.4271/2020-01-2182>.

16. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Т.А. Сафранов. – Львів: “Новий Світ2000”, 2003. - 248 с.

17. Гутаревич Ю. Ф. Екологія автомобільного транспорту / Ю. Ф. Гутаревич. – К.: Основа, 2002 – 312 с.

18. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 4: Test cycles for different engine applications, 1996. – 18 p.

19. Polyvianchuk A., Khreshchenetskyi V., Dmitrieva A., Varchuk V., Vdovichenko O. Creation of diesel particulate emission control system based on the motor stand of automobile engine. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference «Scientific directions of research in educational activity». Osaka, Japan. 2023. – pp. 467-472.

20. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Чинний від 2012-01-12. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2007. 27 с.

21. Основи охорони праці. Лабораторний практикум для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» : лабораторний практикум / Дембіцька С.В., Кобилянська І.М., Кобилянський О.В., Пугач С.С. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 192 с.

22. Полив'янчук А.П., Гальчак Д.Л., Ткачук Я.Ю. Аналіз та систематизація вимог міжнародних стандартів щодо технологій контролю нормованих екологічних показників автомобілів // Міжнародна науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», – Вінниця: ВНТУ, 2023, Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024/schedConf/presentations>

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ
КОНТРОЛЮ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН АВТОМОБІЛЯМИ НА
БАЗІ ТОВ «ІВАНІВСЬКИЙ КАР'ЄР»**
(назва магістерської кваліфікаційної роботи)

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

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ
ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН АВТОМОБІЛЯМИ
НА БАЗІ ТОВ «ІВАНІВСЬКИЙ КАР'ЕР»**

Магістерська кваліфікаційна робота

Напрямок підготовки: 274 - «Автомобільний транспорт»

Розробив: студент гр. 2АТ-22м

Керівник: Д. Т. н., професор



Я.Ю. Ткачук

А.П. Полив'янчук

Вінниця - 2023

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблема, що розглядається: зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Об'єкт досліджень: процеси нормування та діагностування викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільних двигунів.

Предмет досліджень: інноваційні методи контролю нормованих екологічних показників автомобілів – питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна.

Мета: удосконалення технологій екологічного діагностування автомобілів шляхом підвищення ефективності інноваційних методів та засобів інструментального контролю нормованих показників – викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами: CO, CH, NOx та твердих частинок.

Завдання:

1. Аналіз факторів негативного впливу відпрацьованих газів автомобілів та автомобільних двигунів на навколишнє середовище.
2. Дослідження організаційних, методологічних та технічних заходів з екологізації автомобільних двигунів.
3. Аналіз технологій екологічного діагностування автомобілів за нормованими показниками токсичності відпрацьованих газів.
4. Розробка методики підвищення ефективності інноваційних систем екологічного діагностування автомобільних дизелів – мінітунелей з ізокінетичним пробовідбірником.
5. Розробка рекомендацій щодо забезпечення точності ізокінетичного методу відбору проби при випробуваннях дизелів на гальмівних стендах.

2

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОГО ПІДПРИЄМСТВА – ТОВ «ІВАНІВСЬКИЙ КАР'ЄР»

Розташування досліджуваного об'єкту



Аналіз екологічного стану об'єкту



3

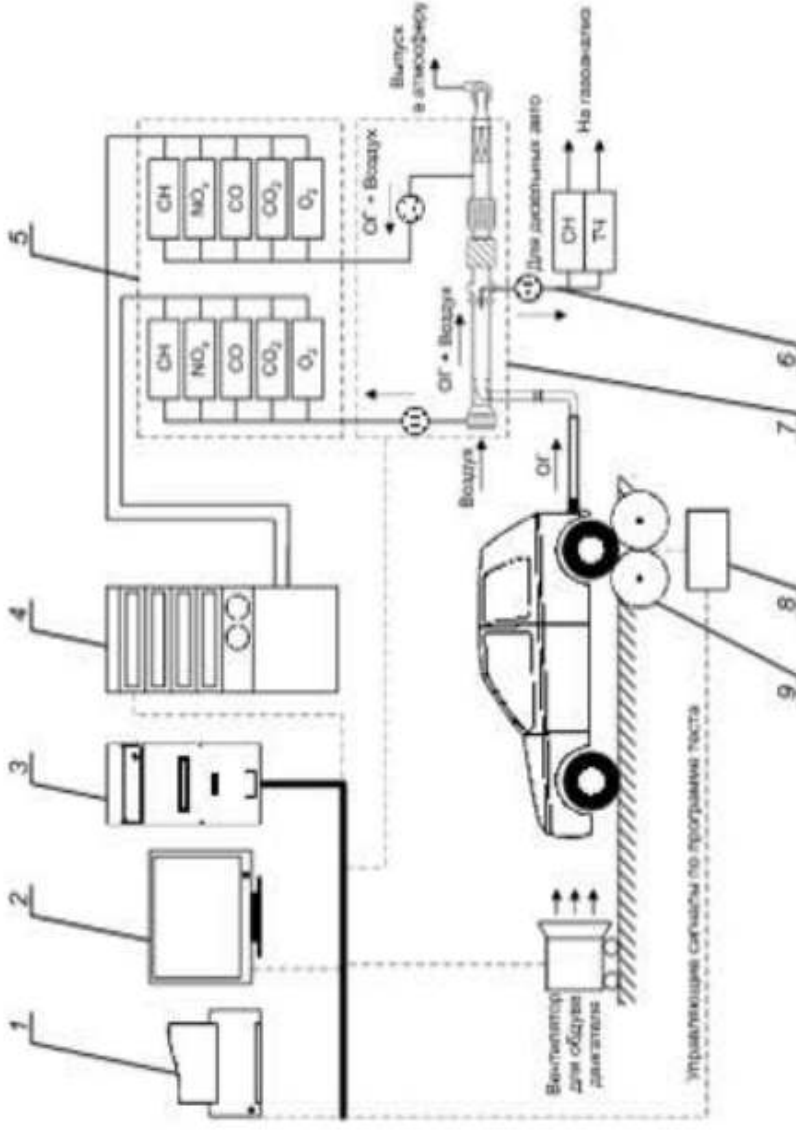
ХАРАКТЕРИСТИКА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ МІСЬКОГО АВТОТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ



НОРМУВАННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

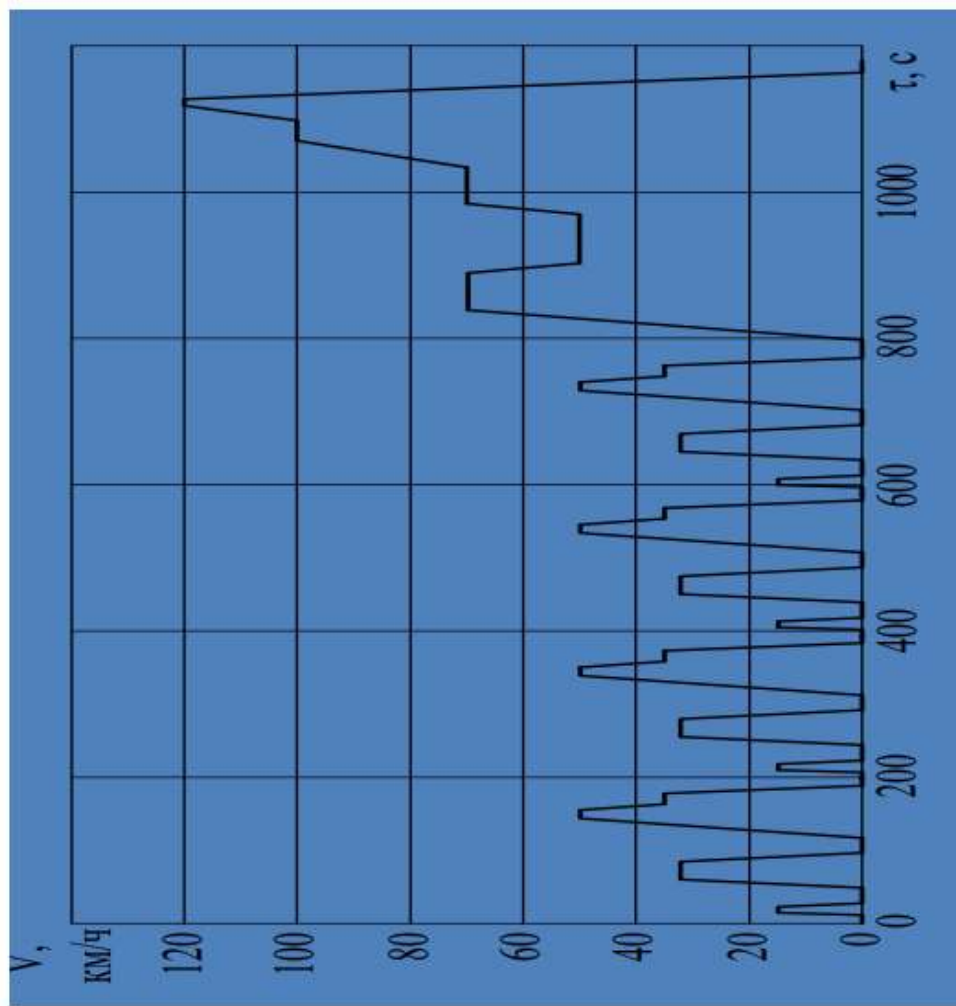
Екологічний стандарт	Оксиди вуглецю	Вуглеводні	Леткі органічні речов.	Оксиди азоту	СН+NO _x	ТЧ
Граничні викиди дизельного двигуна, г/км						
Євро-1	2.72 (3.16)		0,97*		0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Євро-2	1.0		0,67*		0.67	0.08
Євро-3	0.64	0,06	-	0.50	0.56	0.05
Євро-4	0.50	0,05	-	0.25	0.30	0.025
Євро-5	0.500	0,05	-	0.180	0.230	0.005
Євро-6	0.500	0,05	-	0.080	0.170	0.005
Граничні викиди бензинового двигуна, г/км						
Євро-1	2.72 (3.16)		0,97*		0.97 (1.13)	-
Євро-2	2,30		0,50*		0.5	-
Євро-3	2,20	0.20	-	0.15	-	-
Євро-4	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Євро-5	1.000	0.100	0.068	0.060	-	0.005**
Євро-6	1.000	0.100	0.068	0.060	-	0.005**

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ НА СТЕНДІ З БІГОВИМИ БАРАБАНАМИ



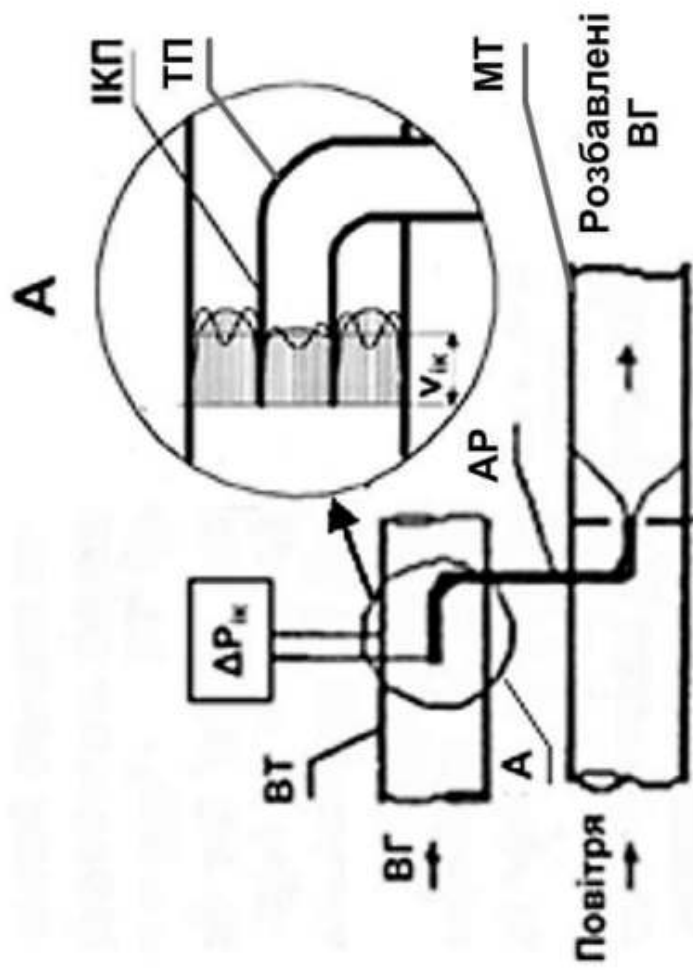
1 - пристрій для друку; 2 - монітор; 3 - мікропроцесорний блок; 4 - газоаналізуюча апаратура; 5 - еластичні ємкості для відбору розбавленого повітря і розбавлених ВГ; 6 - додаткова лінія відбору проб для автомобілів, оснащених дизельними двигунами; 7 - постійний пробовідбірник; 8 - змінні махові маси і динамометрическая навантаження; 9 - бігові барабани в гальмівному пристрої.

ПРОЦЕДУРА ЕКОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ – НОРМОВАНИЙ ІЗДОВИЙ ЦИКЛ NEDC



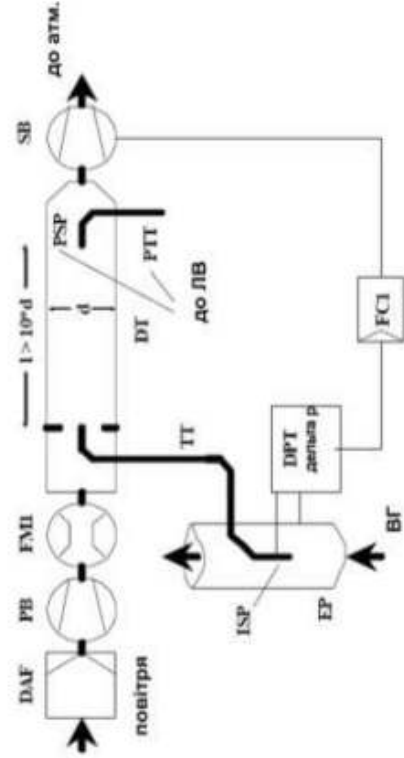
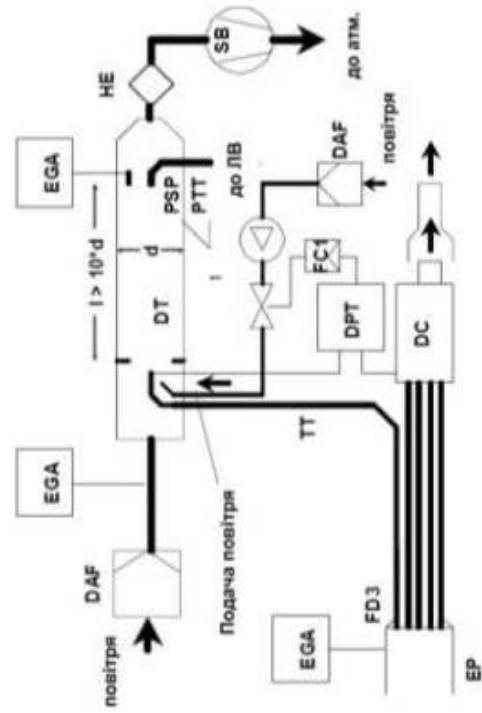
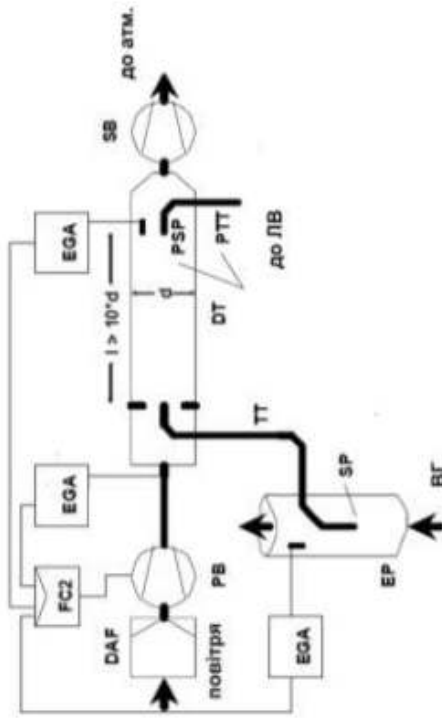
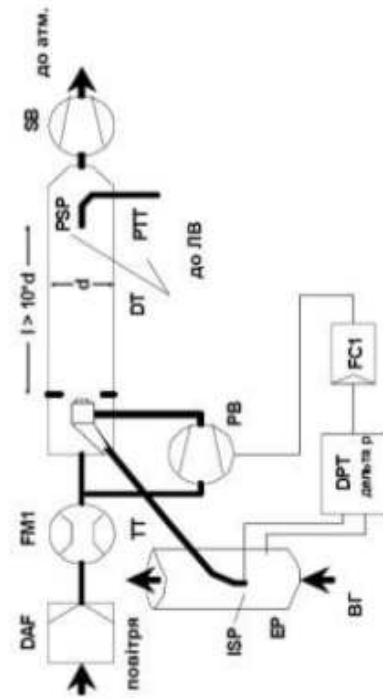
Характеристика циклу ECE	
Тривалість	821 с
Протяжність	4 км
Середня швидкість автомобіля	18 км/год
Максимальна швидкість автомобіля	60 км/год
Відносна трив. періоду розгону	21%
Відносна трив. періоду гальмування	17%
Відносна трив. періоду руху з постійною швидкістю	31%
Відносна трив. періоду зупинки	31%

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ІЗОКІНЕТИЧНОГО ПРОБОВІДБІРНИКА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ - МІНІТУНЕЛЯ

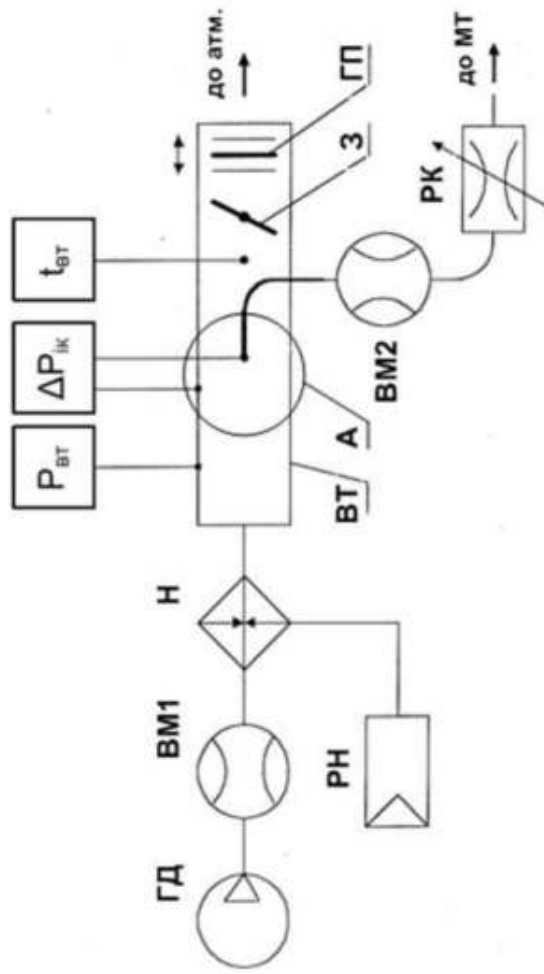
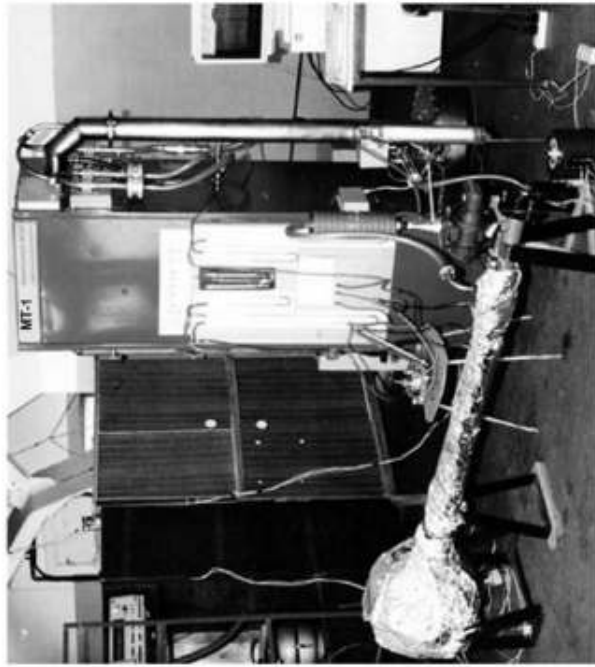


ВГ – відпрацьовані гази; VT - вихлопна труба; ІКП – ізокінетичний пробовідбірник; TP – трубопровод перенесення проби; АР – автоматизований регулятор потоку проби; МТ – мінітунель; ΔP_{ik} – перепад статичних тисків між ІПО та VT; v_s – середня швидкість потоку ВГ.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІЗОКІНЕТИЧНОГО РЕЖИМУ ВІДБОРУ ПРОБИ В МІНІТУНЕЛЯХ



ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ТА ПРИНЦИПОВА СХЕМА ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В МІНІТУНЕЛІ



ГД - газодувка; ВМ1, ВМ2 - витратоміри; Н - нагрівач; РН - регулятор пультсації тиску у ВТ; РВТ, тВТ і fВТ - датчики контролю статичного тиску, температури і частоти коливань тиску у ВТ, відповідно; ΔРІК - датчик контролю перепаду статичних тисків мі ІКП і ВТ.

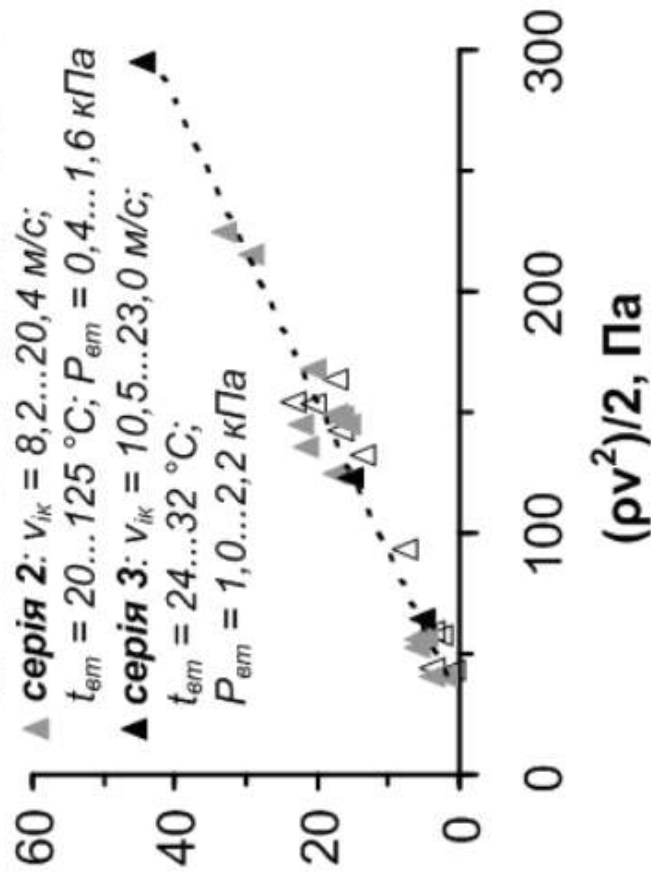
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗОКІНЕТИЧНОГО ПРОБОВІДІБРІНКА МІНІТУНЕЛЯ МТ-1

10

$$\Delta P_{ik} = P_1 - P_2 = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \frac{\rho v^2}{2} = \Delta \alpha \cdot \frac{\rho v^2}{2} \qquad P_1 + \alpha_1 \cdot \frac{\rho v^2}{2} = P_2 + \alpha_2 \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

ΔP_{ik} , Па **Δ серія 1:** $v_{ik} = 9,0 \dots 19,4$ м/с;
 $t_{em} = 50 \dots 155$ °С; $P_{em} = 0,5 \dots 1,45$ кПа
 \blacktriangle серія 2: $v_{ik} = 8,2 \dots 20,4$ м/с;
 $t_{em} = 20 \dots 125$ °С; $P_{em} = 0,4 \dots 1,6$ кПа
 \blacktriangle серія 3: $v_{ik} = 10,5 \dots 23,0$ м/с;
 $t_{em} = 24 \dots 32$ °С;
 $P_{em} = 1,0 \dots 2,2$ кПа

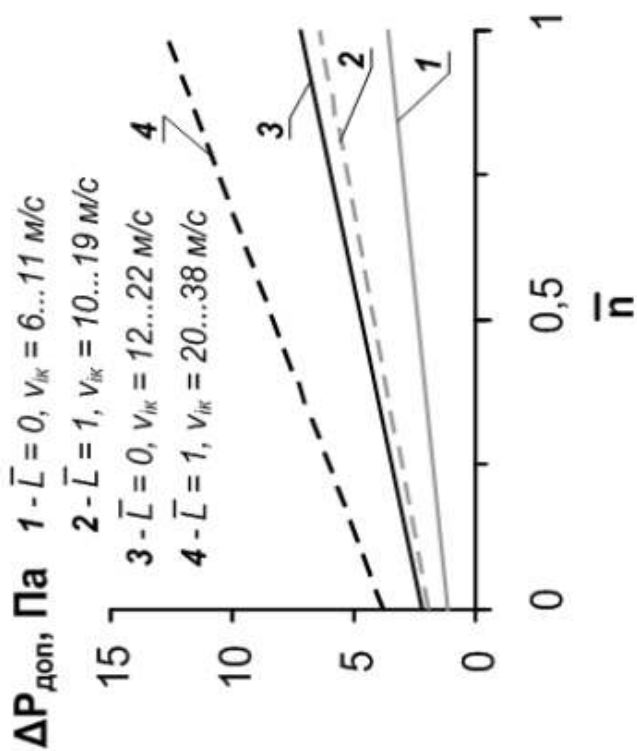
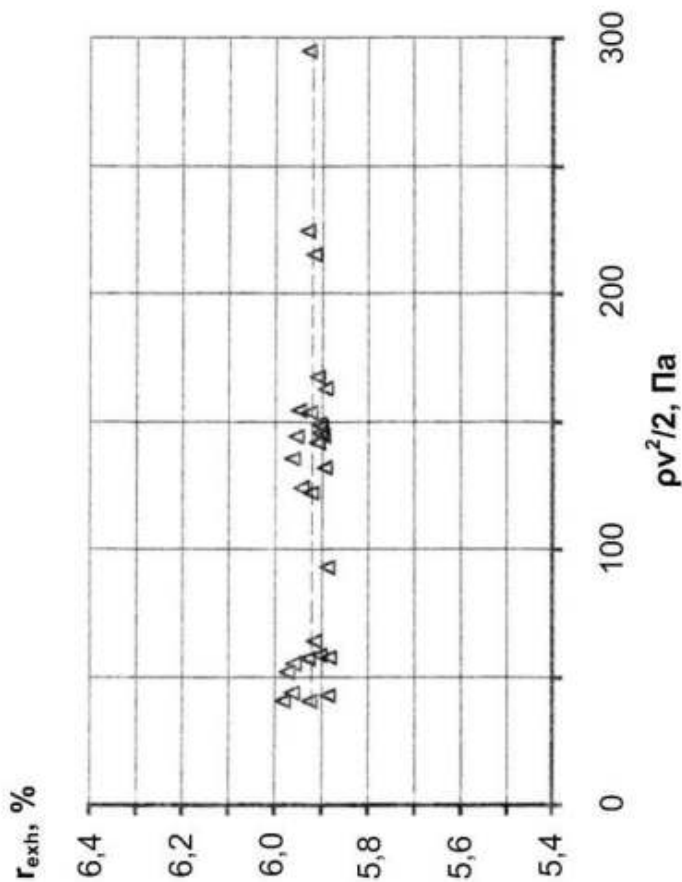
$$\Delta P_{ik} = 0,161 \cdot \frac{\rho v^2}{2} - 4,7$$



РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ІЗОКІНЕТИЧНОГО ПРОБОВІДБІРНИКА НА ГАЛЬМІВНОМУ СТЕНДІ

Забезпечення потрібної точності пробовідбору

Визначення допустимих відхилень від $\Delta P_{\text{рік}}$



ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано фактори негативного впливу відпрацьованих газів автомобілів на навколишнє середовище. Систематизовано нормовані екологічні показники автомобілів – питомі викиди шкідливих речовин – CO, CH, NOx та твердих частинок з відпрацьованими газами двигуна.
2. Досліджено організаційні, методологічні та технічні заходи з екологізації автомобільних двигунів. Систематизовано вимоги міжнародних нормативних документів – Правил ЄЕК ООН R-49, R-83, R-96 та стандарту ISO 8178 до обладнання, процедур випробувань, методик визначення екологічних показників автомобілів; розглянуто принцип дії та основні елементи систем екологічного діагностування автомобілів - мінітунелів.
3. Проведено аналіз технологій екологічного діагностування автомобілів за нормованими показниками токсичності відпрацьованих газів. Рекомендовано інноваційні засоби і методи контролю параметрів вимрювальних систем, в результаті використання яких підвищується ефективність екологічного діагностування автомобілів.
4. Розроблено та експериментально відпрацьовано на безмоторному та моторному випробувальних стендах методику підвищення ефективності інноваційних систем екологічного діагностування автомобільних дизелів – мінітунелей з ізокінетичним пробовідбірником.
5. Розроблено рекомендації щодо забезпечення регламентованої точності ізокінетичного методу відбору проби при випробуваннях автомобільних дизелів на гальмівних стендах.

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Підвищення ефективності інноваційних методів контролю викидів шкідливих речовин автомобілями на базі товариства з обмеженою відповідальністю «Іванівський кар'єр» село Іванів Хмельницького району Вінницької області

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра факультету)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність: 83,4% Схожість: 16,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, 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 є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Цимбал О.В.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи:

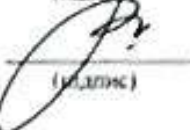
Автор роботи


(підпис)

Ткачук Я.Ю.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Полів'ячук А.П.

(прізвище, ініціали)