

MR-4493

621.43.056
П36

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю дизельних твердих частинок у відпрацьованих газах автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»»

Виконав: студент 2-го курсу, групи
1АТ-21м спеціальності 274 –
Автомобільний транспорт
Фань Юнцань Фань Юнцань

Керівник: д.т.н., професор каф. АТМ
Полив'ячук А.П.
« 7 » 12 2022 р.

Опонент: к.т.н., доцент Сухоруков С.І.
Сухоруков С.І.
« 15 » 12 2022 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АТМ
Цимбал С.В.
к.т.н., доц. Цимбал С.В.
« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 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.

« 19 » 09 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Фань Юнцань

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю дизельних твердих частинок у відпрацьованих газах автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр», керівник роботи Полив'ячук Андрій Павлович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «14» вересня 2022 року № 203.

2. Строк подання студентом роботи: 15.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі КрАЗ-6322; об'єкт дослідження – ефективні методи непрямого оцінювання концентрацій твердих частинок у відпрацьованих газах автомобілів на сталих і несталих режимах роботи двигуна.

4. Зміст текстової частини:

1 Аналіз гравіметричного методу контролю ТЧ у ВГ автомобілів в умовах ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» та можливостей його удосконалення

2 Експериментальна установка для досліджень ефективності гравіметричного та розрахункових методів контролю ТЧ – мікротунель МКТ-2

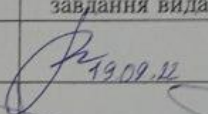
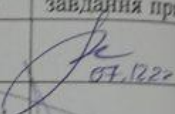
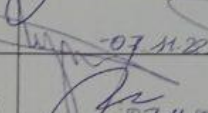
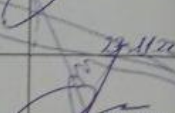
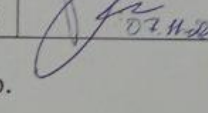
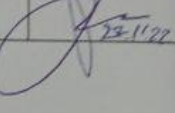
3 Створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на сталих та несталих режимах роботи автомобільних дизелів

4 Створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на несталих режимах роботи автомобільних дизелів

5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
- 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.
 - 4 Огляд базового підприємства – ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр».
 - 5 Аналіз структури та токсикологічних властивостей дизельних ТЧ
 - 6 Аналіз технології та засобів гравіметричного контролю ТЧ у ВГ автомобіля;
 - 7-8 Розробка експериментальної установки для досліджень гравіметричних розрахункових методів контролю ТЧ – мікротунелю МКТ-2;
 - 9-10 Створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на сталі в сталених режимах роботи автомобільних дизелів;
 - 11-14 Розробка та оцінка ефективності оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ у сталених режимах випробувань;
 - 15 Основні наукові і практичні результати, викладені в роботі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

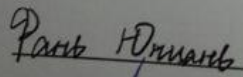
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Розв'язання основної задачі	Поливянчук А.П., професор кафедри АТМ	 19.09.22	 07.12.22
Економічна частина	Буренніков Ю.Ю., доцент кафедри АТМ	 07.11.22	 27.11.22
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ	 07.11.22	 27.11.22

7. Дата видачі завдання « 19 » вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	іміт
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	19.09-02.10.2022	вик.
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	19.09-02.10.2022	вик.
3	Обґрунтування методів досліджень	19.09-02.10.2022	вик.
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2022	вик.
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	21.11-04.12.2022	вик.
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	07.11-27.11.2022	вик.
7	Виконання розділу «Економічна частина»	07.11-27.11.2022	вик.
8	Нормоконтроль МКР	07.11-27.11.2022	вик.
9	Попередній захист МКР	05.12-07.12.2022	вик.
10	Рецензування МКР	08.12-09.12.2022	вик.
11	Захист МКР	12.12-16.12.2022	вик.
		20.12.2022	вик.

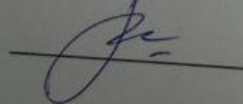
Студент



Фань Юнцань

(підпис)

Керівник роботи



Полив'янчук А.П.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.43.056

Фань Юнцань. Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю дизельних твердих частинок у відпрацьованих газах автомобілів в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 - Автомобільний транспорт, освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт, Вінниця: ВНТУ. 2022. 132 с.

На укр. мові. Бібліограф.: 33 назв., рис.: 39, табл.: 20.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено заходи підвищення ефективності нормованого гравіметричного методу контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами автомобільних дизелів в умовах підприємства «Гніванський гранітний кар'єр».

У загальній частині роботи проаналізовано гравіметричний метод контролю масових викидів дизельних твердих частинок та обґрунтовано необхідність створення непрямих методів визначення даного екологічного показника.

У розрахунковій частині роботи розроблено математичні моделі для оцінки впливу режимів роботи дизеля на вміст твердих частинок у відпрацьованих газах.

В експериментальній частині встановлено емпіричні залежності для визначення концентрацій та викидів дизельних частинок розрахунковим шляхом на сталих та несталих режимах роботи автомобільного дизеля 4ЧН12/14.

В економічній частині проаналізовано механізм виникнення збитку від забруднення атмосфери відпрацьованими газами автомобіля.

У розділі охорони праці розглянуті питання забезпечення охорони праці і навколишнього середовища на стадії проектування автомобільного двигуна для робочого місця інженера-конструктора.

Ілюстративна частина складається з 20 плакатів із результатами дослідження.

Ключові слова: автомобільний двигун, екологічність, відпрацьовані гази, тверді частинки, розрахункові методи, точність.

SUMMARY

UDK 621.43.056

Fan Yontsan. Increasing the efficiency of the gravimetric method of controlling diesel particulate matter in the exhaust gases of cars in company conditions “Gnivansky Granite Quarry”. Master's qualification work on specialty 274 - automobile transport, educational and professional program - automobile transport, Vinnytsia: VNTU. 2022. 132 p.

In English speech. Bibliography: 33 titles, figures: 39, tables: 20.

In the master's thesis, measures to increase the efficiency of the standardized gravimetric method of controlling emissions of solid particles with exhaust gases of automobile diesels in the conditions of conditions “Gnivansky Granite Quarry” were investigated.

In the general part of the work, the gravimetric method of controlling the mass emissions of diesel solid particles is analyzed and the need to create indirect methods for determining this environmental indicator is substantiated.

In the calculation part of the work, mathematical models were developed to assess the influence of diesel engine operating modes on the content of solid particles in exhaust gases.

In the experimental part, empirical dependences were established for determining the concentrations and emissions of diesel particles by calculation on steady and unsteady modes of operation of the 4ChN12/14 automobile diesel engine.

In the economic part, the mechanism of damage caused by atmospheric pollution with car exhaust gases is analyzed.

In the section on labor protection, issues of ensuring labor and environmental protection at the stage of designing an automobile engine for the design engineer's workplace are considered.

The illustrative part consists of 20 posters with research results.

Key words: automobile engine, environmental friendliness, exhaust gases, particulate matter, calculation methods, accuracy.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ГРАВИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЧ У ВГ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ТОВ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР» ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЙОГО УДОСКОНАЛЕННЯ.....	14
1.1 Огляд базового підприємства – ТОВ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР».....	14
1.1.1 Історія підприємства і продукція	14
1.1.2 Загальна характеристика підприємства	17
1.1.3 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства.....	18
1.1.4 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу	20
1.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЧ ЯК НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗАБРУДНЮВАЧА ДОВКІЛЛЯ	22
1.3 МЕТОДИКА ГРАВИМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ВИКИДІВ ТЧ	29
1.3.1 Технічні засоби для визначення маси ТЧ.	31
1.3.2 Випробувальні цикли для встановлення середньоексплуатаційних викидів ТЧ.....	322
1.4 Висновки до першого розділу.....	41
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРАВИМЕТРИЧНОГО ТА РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЧ – МІКРОТУНЕЛЬ МКТ-2.....	43
2.1 ПРИНЦИП ДІЇ, ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МКТ-2.	43
2.2 ЕЛЕКТРОННЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МКТ-2.....	51
2.3 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОТУНЕЛЮ.....	58
2.4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВІДПРАЦЮВАННЯ МКТ-2 НА ГАЛЬ-МІВНОМУ СТЕНДІ ДИЗЕЛЯ 4СН12/14.	61

2.5 Висновки до другого розділу	65
РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ	
ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЧ У ВГ НА СТАЛИХ І НЕСТАЛИХ	
РЕЖИМАХ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ	66
3.1 ПАРМЕТРИ ДОСЛІДЖУВАНИХ СТАЛИХ РЕЖИМІВ ВИПРОБУВАНЬ	66
3.2 ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВЕЛИЧИН $P_{T_{mass}}$, P_T ТА C_{PT} ВІД ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ.....	67
3.3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИН n ТА L НА ВИКИДИ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ТЧ У ВГ ДИЗЕЛЯ.....	71
3.4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	72
3.5 РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ВМІСТУ ТЧ У ВГ НА НЕСТАЛИХ РЕЖИМАХ.....	73
3.6 Висновки до третього розділу	82
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИКО-	
ГРАВІМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЧ НА СТАЛИХ	
РЕЖИМАХ ВИПРОБУВАНЬ	83
4.1. Вимоги до точності сучасних методів контролю ТЧ	83
4.2 Суть оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ	84
4.3 Визначення кількісних характеристик вмісту ТЧ у ВГ дизелів.....	86
4.4 Процедура калібрування оптичного детектора ТЧ	88
4.5 Оцінка економічної ефективності екологічних заходів	90
4.6 Висновки до четвертого розділу	93
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ	94
5.1 Загальні питання охорони праці Шкідливі і небезпечні виробничі чинники, їх класифікація	94
5.2 Промислова санітарія.....	96
5.3 Електробезпека. Пожежна безпека. Охорона навколишнього середовища	100

ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106
ДОДАТОК А.....	110
ДОДАТОК Б	131

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

ESC – європейський стаціонарний цикл (European Stationary Cycle), сертифікаційна процедура випробувань дизелів вантажних автомобілів та автобусів, повна маса яких перевищує 3,5 т, в ході якої двигун випробовується на встановлених сталих режимах;

PT – середньоексплуатаційний викид ТЧ з ВГ дизеля, г/кВт·год;

PT_{massi} – масовий викид ТЧ з ВГ дизеля на i -му режимі випробувань, г/год;

PT_{mass} – середній за випробувальний цикл масовий викид ТЧ з ВГ дизеля, г/год;

P_i – ефективна потужність дизеля на i -му режимі випробувань, кВт;

\bar{P} – середня за випробувальний цикл ефективна потужність дизеля, кВт;

m_{fi} – маса ТЧ, зібрана на фільтрі на i -му режимі випробувань, мг;

m_f – маса ТЧ, зібрана на фільтрі за випробувальний цикл, мг;

n – абсолютне значення числа обертів вала двигуна, хв^{-1} ;

\bar{n} – відносне значення числа обертів колінчастого вала двигуна у частках одиниці;

L – навантаження дизеля – відношення крутного моменту до максимального значення при даному n , %;

\bar{L} – відносне значення навантаження дизеля у частках одиниці;

WF_i – регламентований ваговий фактор, який враховує відносний час роботи дизеля на i -му режимі в процесі експлуатації;

WF_{ei} – ефективний ваговий фактор, який визначається за результатами випробувань;

t_{dil} – температура розбавляючого повітря;

t_{fi} – температура розбавлених ВГ перед фільтром для відбору ТЧ на i -му режимі;

$t_{f(max)}$ – максимальна температура проби перед фільтром протягом випробувального циклу;

$\Delta t_{f(52)}$ – величина зменшення максимальної температури проби перед фільтром до значення 52 °С в результаті повітряного охолодження тунелю;

τ_{st} – тривалість періоду стабілізації робочого фільтру;

t_{st} – температура повітря, при якій стабілізуються фільтри для збору ТЧ;

δPT – результуюча похибка вимірювань показника PT ;

δPT_{in} – інструментальна похибка вимірювань показника PT (складова похибки δPT);

δPT_{if} – методична похибка вимірювань показника PT (складова похибки δPT), яка виникає на етапі підготовки проби до аналізу та залежить від величин t_{dil} , t_{fi} і $\Delta t_{f(52)}$;

δPT_{st} – методична похибка вимірювань показника PT (складова похибки δPT), яка виникає на етапі стабілізації робочого фільтру та залежить від величин τ_{st} і t_{st} ;

$DM1 - DM4$ – режими розбавлення ВГ у розбавляючому тунелі;

G_{exh} – масова витрата нерозбавлених ВГ дизеля;

G'_{exh} – масова витрата ВГ, що відбираються з вихлопної труби дизеля до частковопоточної системи: міні- або мікротунелю.

r_{exh} – коефіцієнт відбору ВГ – частка ВГ, що відбирається з вихлопної труби дизеля і подається до тунелю у частках одиниці;

q – коефіцієнт розбавлення ВГ повітрям;

G_{edfi} – масова витрата розбавлених ВГ у еталонному (повно-поточному) тунелі на i -му режимі; кг/год;

$\overline{G_{edf}}$ – середня масова витрата розбавлених ВГ у еталонному тунелі за цикл; кг/год.

Скорочення:

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ВГ – відпрацьовані гази;

ТЧ – тверді частинки;

РОФ – розчинна органічна фракція ТЧ;

ВТ – вихлопна труба дизеля;

ІКП – ізокінетичний пробовідбірник;

ТП – трубопровід переносу частки проби ВГ з ВТ до тунелю, або розбавлених ВГ з первинного до вторинного тунелю (при 2-кратному розбавленні ВГ);

РТ – розбавляючий тунель;

ЛВ – лінія відбору проб ТЧ;

ЕМК – електронний модуль керування;

СКВ – середньоквадратичні відхилення;

МЕРО – метіловий ефір рапсової олії.

Терміни:

тверді частинки – увесь матеріал, що збирається на спеціальних фільтрах на скловолоконній основі з фторопластовим покриттям в результаті пропускання через них ВГ дизеля, розбавлених чистим повітрям до температури, що не перевищує 52 С та є більшою, ніж 42 °С;

розбавляючий тунель – трубопровід, в якому ВГ дизеля змішуються з чистим повітрям з метою імітації природного процесу їх розсіювання в атмосфері;

дослідницькі екологічні випробування – випробування, в ході яких вимірюються масові (г/год) та питомі (г/кВт·год) викиди забруднюючих речовин з ВГ ДВЗ на окремих режимах роботи двигуна;

сертифікаційні екологічні випробування – випробування, в ході яких вимірюються середньоексплуатаційні викиди забруднюючих речовин з ВГ ДВЗ, що нормуються відповідно до вимог міжнародних стандартів.

ВСТУП

Актуальність теми. З початком дії норм EURO (1993 р.) до нормованих екологічних показників дизеля введено середньоексплуатаційний масовий викид твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ). Цей показник, згідно нормативних документів, має позначення *PT* від «particles» (або *PM* від «particulate matter») і визначається гравіметричним методом з використанням спеціального обладнання – тунеля в ході виконання встановлених випробувальних циклів [1–3].

Серед забруднюючих речовин, що містяться у ВГ дизелів, ТЧ займають друге місце після оксидів азоту за рівнем негативного впливу на навколишнє середовище та характеризуються найбільшим показником відносної агресивності (у порівнянні з оксидом вуглецю), який дорівнює 200. З причини високої токсичності ТЧ протягом останніх 20-ти років відбувається розширення області нормування викидів цієї речовини на дизелі різних призначень. Сьогодні норми на викиди ТЧ встановлені для дизелів автомобілів, позашляхової техніки, тепловозів, морських та річкових суден. В цих умовах підвищується значимість доступності за вартістю обладнання для вимірювань показника *PT*.

З 2005 р. допустимий рівень викидів ТЧ з ВГ автомобільних дизелів за випробувальним циклом ESC становить 0,02 г/(кВт·год), що у 18 разів менше, ніж при введенні норм EURO. При такому рівні викидів результуюча похибка вимірювань показника *PT* при випробуваннях – δPT є значною і досягає 25...35%. В перспективі (з введенням норм EURO-VI) планується подальше зниження норм на викиди ТЧ автомобільних дизелів до 0,005 г/(кВт·год). Передбачається підвищення вимог щодо масової кількості ТЧ у ВГ дизелів позашляхової техніки, тепловозів, морських та річкових суден. Оскільки δPT є основним показником, який визначає придатність гравіметричного методу для контролю малих рівнів викидів ТЧ з ВГ дизелів, важливо розробити наукові основи і реалізувати практичні заходи щодо його зменшення.

Таким чином в умовах збільшення області нормування викидів ТЧ від дизелів різного призначення і зменшення допустимих рівнів цих викидів потребує розв'язання актуальна науково-практична проблема забезпечення потрібної точності та доступної вартості систем контролю масових викидів ТЧ з ВГ дизелів – тунелів.

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:* Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю дизельних ТЧ у ВГ автомобілів в умовах підприємства видобувної галузі шляхом створення на його основі економічних, зручних у експлуатації методів непрямого визначення концентрацій ТЧ у ВГ на сталих і несталих режимах роботи двигуна. *Завдання роботи:*

- огляд базового підприємства – ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»;
- аналіз структури та токсикологічних властивостей дизельних ТЧ;
- аналіз технології та засобів гравіметричного контролю ТЧ у ВГ автомобіля;
- розробка експериментальної установки для досліджень гравіметричного і розрахункових методів контролю ТЧ – мікротунелю МКТ-2;
- створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на сталих та несталих режимах роботи автомобільних дизелів;
- розробка та оцінка ефективності оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ на сталих режимах випробувань;

Об'єкт дослідження: процеси забруднення атмосфери дизельними ТЧ, які відносяться до найбільш небезпечних компонентів ВГ автомобілів, викиди яких нормуються екологічними стандартами.

Предмет дослідження: ефективні методи непрямого оцінювання концентрацій ТЧ у ВГ автомобілів на сталих і несталих режимах роботи ДВЗ.

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено методи непрямого визначення одного з основних нормованих екологічних показників автомобільних дизелів – масового викиду ТЧ з ВГ шляхом використання розрахункових залежностей концентрацій ТЧ від параметрів двигуна, які визначаються експериментальним шляхом.

Практичне значення одержаних результатів.

Створено та відпрацьовано експериментальну установку – мікротунель МКТ-2 для досліджень ефективності гравіметричного, опоптико-гравіметричного та розрахункових методів вимірювань масових викидів ТЧ з ВГ автомобільних двигунів.

Достовірність теоретичних положень даної роботи підтверджується доведенням адекватності математичних моделей концентрацій ТЧ на статих та несталих режимах випробувань шляхом використання відомих статистичних методів обробки інформації.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ГРАВИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЧ У ВГ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ТОВ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР» ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЙОГО УДОСКОНАЛЕННЯ

1.1 Огляд базового підприємства – ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»

1.1.1 Історія підприємства і продукція

Історія Гніванського кар'єру пов'язана з розвитком нашої країни. Десь на початку 19 століття до н.е., гнів був відкриттям кристальних депозитів. І тільки в 1870 році Одеса почала будувати залізничний гнів Кіv.

Потім відкрилася одна кар'єра. Висока якість каміння придonesла до швидкого розвитку кар'єри Геної. Ми почали створювати різні продукти, наприклад, стовпчики Тесеракту, пам'яті, сходи і так далі. Оскільки немає відповідних технологій, кар'єрна продуктивність була низькою. З початку року виробництво каміння та попелу було близько 20 000 кубів на рік. Але кар'єра поступово розвивалася. Вивід збільшився. Керерері почали виробляти складні форми чистого м'яса монолітів для кисню смажених шахів та низьких технологічних продуктів. У той час не було більше 60 чоловіків, і шторм працював вручну.

Експлуатація кар'єрів в таких, порівняно невеликих розмірах тривала до 1914 р., тобто до початку першої світової війни, і була відновлена через 11 років, в 1925 р. на кар'єрах №2 та №3, в них виробляли побутовий камінь та штучну продукцію. У 1926 році на кар'єрах вперше було встановлено каменедробильний агрегат 7 м³ щебеню за годину.

В 1926 році річне виробництво було будівництвом - 20 000м³ товщини 14 000м³, штучного виробництва 6 000 м³.

З 1927 року підприємство поступово розвивається. Гаразд, чотири кар'єри. Вона створила власну енергетичну базу, розширила фермерію комплексорів,

побудувала бункерові будівлі, які допомогли їй механізувати завантаження попелу в машині.

Після випуску Геної почалося відновлення та розвиток кар'єри. У 1957 році завершено будівля DSC №. 1, а продуктивність 650 000 м³ каміння та попелу використовується щороку. В 1959 році відкрилася нова вієтнамська кар'єра і розпочалася будівля DSC № 2, яка була запущена в 1966 році. Загальна потужність після випуску каміння та попелу була 1 млн. 170 000 м³ на рік.

В кінці 1996 р. підприємство закінчило приватизацію, воно перетворилося у Відкрите Акціонерне Товариство «Гніванський кар'єр». Загальні збори акціонерів вибрали нового голову правління товариства, ним став гірничий інженер Берещук Віктор Онуфрійович, який до цього працював тут же головним інженером підприємства.

Загальними зусиллями колективу підприємство почало підійматися.

В 1998 р. вже випущено продукції 641 тис. м³, що майже втричі більше ніж в 1996 р. Заробітна плата працівникам видається своєчасно, скорочення кількості працівників не має. На даний момент підприємство продовжує поступово набирати темпи виробництва.

В квітні місяці 2008 року підприємство ВАТ «Гніванський кар'єр» реорганізовано в ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» та ВАТ «Гніванський кар'єр».

На сьогодні працює ДСЦ № 2 який випускає щебенева продукцію фракції 5 – 10мм, 10 – 20 мм, 5 – 20 мм в кількості 1 млн. 100 тис. м³ в рік.

Зроблено реконструкцію обладнання ДСЦ № 1 де випускається кубовидний щебеню фракції 2-5 мм, 5-8 мм, 8-11 мм, 11-16 мм; відсів фракції 0-2 мм; 0-5 мм.

Щоб бути успішним на збентеженому ринку, ми отримуємо сучасні технології, це про вибухові роботи та технологічні лінії, щоб випустити виробництво попелу заводу. Особлива увага звертається до якості попелу, покращеного контролю якості виробництва, застосовуються нові типи вибухів для покращення якості початкової горної маси. Виробництво кар'єри є

сертифіковано, компанія працює сучасною тестованою лабораторією, яка забезпечує всі обладнання, потрібне

Вони роблять речі з природного каменю, граніту. Купу маси з кар'єри доставляє БілаЗ автоматичний рух до початкової резервації фрагментації тіла, де вона фрагментована і фрагментована. Високояка пена і доступні ціни приваблюють купувачів в Україні та за межами неї.

Реалізується готова продукція залізничним транспортом та автотранспортом. Дуже схвальні відгуки покупців продукції нашого підприємства, так як щебінь ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» має високу міцність, морозостійкість, не містить шкідливих домішок, тому його широко застосовують у будівництві. Щебінь ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» є унікальним і не має аналогів в Україні.

Щебінь – це продукт дроблення скельних гірських порід; пухкий, крутий матеріал із маленьких каменів у неправильній формі. Залежно від розміру частинок, визначається частина щелезничі. Частини менші ніж 3 мм використовуються як пісок.

Чим менше частина попелу, тим менше камінці входять в його композицію. Делінки попелу захоплюючи бетон сильніші, а частини попелу захоплюючи бетон краще заповнюють різні пусті. Виходять багато різних частин, коли ви ділите великі частини жорстких гор. Використовується для приготування бетонного розчину як великого заповнення. Дякуючи різкій формі поверхні товстих шарів, товстий шар ідеально підходить до розв'язку з цементом піску у процесі створення бетону.

Даний продукт виготовляється шляхом видобутку в кар'єрі гірської породи, яку потім шляхом «грохочення» (спосіб дроблення граніту) переробляють в щебінь. Найпоширенішою і широко вживаною гірською породою є граніт.

За розміром щебінь розділяють на фракції. Фракція – це максимально допустимий розмір окремо взятого каменя (зерна). Розділяють основні і супутні

фракції щебеню. До основних фракцій відносяться: 5-10 мм, 10-20 мм, 5-20 мм, 20-40 мм, 40-70 мм. До супутніх – 0-5 мм, 0-2 мм.

1.1.2 Загальна характеристика підприємства

Товариство з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр" (надалі ТОВ) розташоване в місті Гнівань по вул. Леніна, 85.

Вид економічної діяльності – видобування і переробка каменю.

ТОВ має в своєму складі такі основні виробничі структурні підрозділи:

- гірничий цех (займається видобутком граніту);
- дільниця буровибухових робіт (проводить буріння свердловин, здійснення вибухів, розбирання негабаритних кам'яних брил);
- дробильно-сортувальний завод (переробляє гірничу масу на продукцію різних фракцій);
- транспортний цех (здійснює навантаження готової продукції на різні види транспорту);
- центральна робоча майстерня (ремонтують агрегати і вузли, виготовляє деталі для забезпечення технологічного виробничого процесу);
- ремонтно-будівельний цех (виконує роботи, пов'язані з благоустроєм території підприємства і будівництвом);
- електроцех (здійснює безперебійне постачання електроенергії для роботи підприємства і ремонт силового електрообладнання).

Є на підприємстві і допоміжне виробництво:

- цех по виготовленню виробів з граніту;
- цех по виготовленню електродів;
- цех по виготовленню тротуарної плитки;
- цех по виготовленню метало-пластикових вікон.

До виробничої структури ТОВ входить і транспортний підрозділ.

Поділ транспорту, створений для перенесення горної маси, забезпечення матеріалів і резервних частин, компонентів різних видів, а також забезпечення послуг для реалізації виробленого виробництва.

Її виробництво та технічна база є матеріальною базою для забезпечення життєвості транспортних способів, одним з найважливіших елементів комерційної структури компанії, головними компонентами виробничкої інфраструктури, що надає перехідні можливості мобільного

Організація перевозу товарів автомобілем бізнес виконується відповідно до вимог законодавства.

1.1.3 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства

Склад і вартість основних виробничих фондів підприємства визначаються на основі „Приміток до річної фінансової звітності за 2020 рік” за формою №5. На основі цих даних формується таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні виробничі фонди

Групи основних засобів	Залишок на початок року		Надійшло за рік	Вибуло за рік		Нараховано амортизації за рік	Залишилось на кінець року	
	Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос
1. Будинки, споруди та передавальні пристрої	9137.3	5245.3				181.5	9137.3	5426.8
2. Машини та обладнання	14751.7	8367.2	501.6	6.5	5.1	925.8	15246.8	9287.9
3. Транспортні засоби	1330.9	573.5	1579.4	46.3	26.4	321.1	2864.0	868.2
4. Інші основні засоби	147.2	118.0				6.5	147.2	124.5
5. Малоцінні необоротні матеріальні активи	637.7	637.7	220.0			220.0	857.7	857.7
Разом	26004.8	14941.7	2301.0	52.8	31.5	1654.9	28253.0	16565.1

Аналізуючи дані наведені в таблиці 1.1, можна зробити висновки про структуру основних виробничих фондів: будівлі, споруди та передавальні пристрої становлять 32,34 % від загальної вартості; машини та обладнання – 53,97%, транспортні засоби – 10,14 %; інші основні засоби – 0,52%.

При аналізі стану основних фондів детальніше будуть розглядатися показники, які відносяться до транспортних засобів. За рекомендаціями [6, 8] необхідно визначити їх коефіцієнти відновлення, вибуття і придатності.

Коефіцієнт відновлення відображає інтенсивність відновлення транспортних засобів і визначається за формулою:

$$K_{\text{від}} = \frac{OB\Phi_{\text{в}}}{OB\Phi_{\text{к}}}$$

де $OB\Phi_{\text{в}}$ – вартість транспортних засобів, що надійшли за рік, грн.;

$OB\Phi_{\text{к}}$ – вартість транспортних засобів на кінець року, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт відновлення становитиме:

$$K_{\text{від}} = \frac{1579.4}{2864.0} = 0.551$$

Коефіцієнт вибуття, який характеризує ступінь вибуття автомобілів:

$$K_{\text{виб}} = \frac{OB\Phi_{\text{виб}}}{OB\Phi_{\text{к}}}$$

де $OB\Phi_{\text{виб}}$ – вартість транспортних засобів, що вибули за рік, грн.;

$OB\Phi_{\text{к}}$ – вартість транспортних засобів на початок року, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт вибуття становитиме:

$$K_{\text{виб}} = \frac{46.3}{1330.9} = 0.0348$$

Коефіцієнт придатності характеризує технічний стан транспортних засобів:

$$K_{\text{прид}} = \frac{ОВФ_{\text{зал}}}{ОВФ_{\text{перв}}} = 1 - K_3 = 1 - \frac{З}{ОВФ_{\text{перв}}}$$

де $ОВФ_{\text{зал}}$ – залишкова транспортних засобів, грн.;

$ОВФ_{\text{перв}}$ – первісна транспортних засобів, грн.;

K_3 – коефіцієнт зносу;

$З$ – знос транспортних засобів, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт придатності становитиме:

$$K_{\text{прид}} = 1 - \frac{868.2}{1330.9} = 1 - 0.652 = 0.348$$

Аналізуючи виконані розрахунки, можна зробити наступні висновки:

- транспортні засоби підприємства мають знос 65,2% ;29
- придатність транспортних засобів підприємства становить 34,8%;
- інтенсивність відновлення транспортних засобів (55,1%) перевищує

інтенсивність вибуття (3,48%).

1.1.4 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу

Для перевезення вантажів і забезпечення переліку виконуваних філією робіт, автотранспортний підрозділ має власний рухомий склад, дані про який наведені в табл. 1.2 і 1.3.

Як видно з таблиці 1.2, частка вантажних автомобілів складає 67,24% від загальної кількості транспортних засобів, частка спеціальних – 10,34%, пасажирських легкових – 18,97%, автобусів – 3,44%.

Структура вантажних автомобілів наступна: бортові автомобілі і сидельні тягачі становлять по 17,95% від загальної кількості рухомого складу, а самоскиди – 64,1%.

В таблиці 1.4 подано віковий розподіл рухомого складу.

Таблиця 1.2 – Наявність автотранспорту на початок 2021 року

Найменування показників	Наявність автомобілів, одиниць	Загальна вантажопідйомність, тонн (з точністю до 0,1), пасажиромісткість, місць для сидіння
Автомобілі: всього	58	-
Вантажні автомобілі, включаючи пікапи і фургони на шасі легкових автомобілів	39	307.8
В тому числі за призначенням та конструкцією кузова: бортові	7	28
самоскиди	25	181.8
сідельні тягачі	7	98
за вантажопідйомністю: до 1499 кг	-	-
1500-4999 кг	13	52
5000-6999 кг	5	29.2
7000-9999 кг	10	80.6
10000-14999кг	11	146
спеціальні автомобілі	6	-
Пасажирські легкові автомобілі	11	55
Пасажирські автобуси	2	92

Таблиця 1.3 - Вантажні напівпричепи і автомобільні причепа

Конструкція кузова напівпричепи, причепи	Всього, одиниць	Загальна вантажопідйомність, тонн (з точністю до 0,1)	Нові напівпричепи (причепи) які надійшли в звітному році, одиниць
причепи і напівпричепи	7	98.0	-
за конструкцією кузова: бортові	5	72.0	-
самоскидні	2	16.0	-

Таблиця 1.4 – Групування власних автомобілів залежно від часу перебування в експлуатації

Тип автомобіля (кузова)	Всього	В т.ч., які перебували в експлуатації з моменту випуску заводом-виготовлювачем				
		до 3 років включно	від 3,1 до 5 років включно	від 5,1 до 8 років включно	від 8,1 до 10 років включно	більше 10 років
Автомобілі - всього	58	13	2	-	2	41
в тому числі: вантажні	39	7	-	-	-	32
автобуси	2	-	-	-	-	2
легкові автомобілі	11	4	2	-	2	3
Спец. автомобілі	6	2	-	-	-	4

Аналізуючи дані таблиці 1.4 приходимо до висновку, що:

- 70,69% транспортних засобів перебувають в експлуатації більше 10 років;
- по 3,45% експлуатуються від 3,1 до 5 років і від 8,1 до 10 років включно;
- 22,41% перебувають в експлуатації з моменту випуску заводом-виготовлювачем до 3 років включно.

1.2 Характеристика ТЧ як небезпечного забруднювача довкілля

Згідно з запитуваними даними, світове володіння автомобілями з 2010 по 2022 рік демонструвало стійку тенденцію зростання, а світове володіння автомобілями до 2022 року становило 1,446 млрд одиниць. «Автомобільна катастрофа» сформувалася, а вихлоп автомобіля ще більш шкідливий. Науковий аналіз встановив, що в автомобільних вихлопах є сотні різних сполук, серед яких забруднювачі включають тверді зважені частинки, чадний газ, вуглеводні, оксиди азоту, оксиди свинцю і сірки. Автомобіль викидає шкідливих вихлопних газів в три рази більше власної ваги в рік, а машина постійно споживає земні

ресурси. Витрата палива автотранспорту стає бездонним котлованом для використання нафтових ресурсів. В даний час на нафту, яка використовується в автомобілях, припадає близько третини світового споживання бензину, і в той час як автомобілі споживають велику кількість ресурсів, викидаються ними вихлопні гази серйозно позначаються на здоров'ї людини. Оксиди азоту і гідроксиди можуть викликати стимулюючі реакції у сприйнятливих людей. У вихлопних газах сполуки азоту і водню містять канцерогени і не можуть виводитися після вдихання організмом людини.

До забруднювачів автомобільних вихлопних газів в основному відносяться: чадний газ, вуглеводні, оксиди азоту, діоксид сірки, частинки сажі і озон. Основною шкодою автомобільних вихлопів є утворення фотохімічного смогу, який може змусити дерева загинути, знизити врожайність сільськогосподарських культур у великих кількостях, зменшити видимість атмосфери, перешкоджати руху транспорту. Автомобільні вихлопи менше оксиду азоту, але високотоксичні, в три рази токсичніші, ніж сірковмісні оксиди. У наш час автомобільний пристрій для очищення відпрацьованих газів на ринку неефективно контролює тверді частинки у вихлопних газах, а у вихлопних газах після очищення все ще є велика кількість твердих частинок, що серйозно загрожує здоров'ю людей, і необхідно терміново зменшити забруднення, викликане автомобільним вихлопом в атмосферу, і поліпшити якість повітря.

Термін ТЧ або забруднюючі зважені частинки означає весь матеріал, зібраний на спеціальному фільтруючому засобі з фторопластового матеріалу після пропускання крізь нього ВГ дизеля, розбавлених атмосферним повітрям до температури, яка не перевищує 52 °С та є більшою, ніж 42 °С [1].

ТЧ представляють собою полікомпонентне утворення, до складу якого входять такі елементи: дизельна сажа (продукт піролізу палива), розчинна органічна фракція – РОФ (вуглеводні палива та мастила, які не згоріли та сконденсувалися і адсорбувалися на поверхні сажових частинок), сульфати (солі сірчаної кислоти) та інші включення (продукти зносу, зола від присадок,

тощо). Відносні частки цих елементів у складі ТЧ залежать від режиму роботи дизеля та змінюються в широких діапазонах [25] (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Компоненти, що входять до складу ТЧ, та їх відносні частки

Негативний вплив ТЧ на довкілля і людину проявляється за трьома напрямками:

– частинки при вдиханні викликають роздратування дихальних шляхів, а при хронічному впливі – легеневі захворювання; у загальному випадку ТЧ мають розміри 0,1...0,54 мкм в діаметрі і можуть досягати альвеол легенів або відкладатися в носових пазухах, трахеях або бронхах;

– частинки є переносником канцерогенних речовин, які адсорбуються на їхньої поверхні (1 г сажі має площу поверхні приблизно 75 м²);

– наявність зважених частинок у повітрі погіршує видимість на шляхах (видимим автомобільний вихлоп стає при концентраціях частинок у ВГ 130 мг/м³ і більше); при цьому частинки розміром до 0,15 мкм можуть перебувати в повітрі у зваженому стані близько 8 діб. Найбільш токсична фракція у складі ТЧ – РОФ. Вона містить сполуки з дратівливою, мутагенною та канцерогенною діями, такі як поліциклічні ароматичні вуглеводні (зокрема бенз- α -пірен), алкілпроізводні бензолу, неароматичні сполуки (алкаїн, нафтеїн, альдегіди), тощо.

Серед забруднюючих речовин, викиди яких нормуються міжнародними стандартами, ТЧ займають друге місце після оксидів азоту за індивідуальним

внеском у сумарну токсичність ВГ дизеля – R (що розраховується у відповідності до методики [24]):

$$R_i = \frac{E_i}{E_{\Sigma}} = \frac{A_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i} \cdot 100\%,$$

де i – забруднююча речовина;

E_i – приведений питомий викид i -ї речовини, ум. г/кВт·год;

E_{Σ} – сумарний приведений питомий викид основних забруднюючих речовин, що містяться у ВГ дизеля ум. г/кВт·год;

A_i – показник відносної агресивності i -ї речовини по відношенню до монооксиду вуглецю ($A_{CO} = 1$, $A_{NOx} = 41,1$, $A_{CH} = 3,16$, $A_{TЧ} = 200$), ум. г/г;

m_i – масовий (г/год) або питомий (г/кВт·год) викид i -ї речовини;

n – кількість забруднюючих речовин, що розглядаються.

На рис. 1.2 представлені результати оцінювання величин R_i , зробленого на основі аналізу Європейських норм EURO (табл. 1.5), які обмежують викиди забруднюючих речовин від автомобільних дизелів.

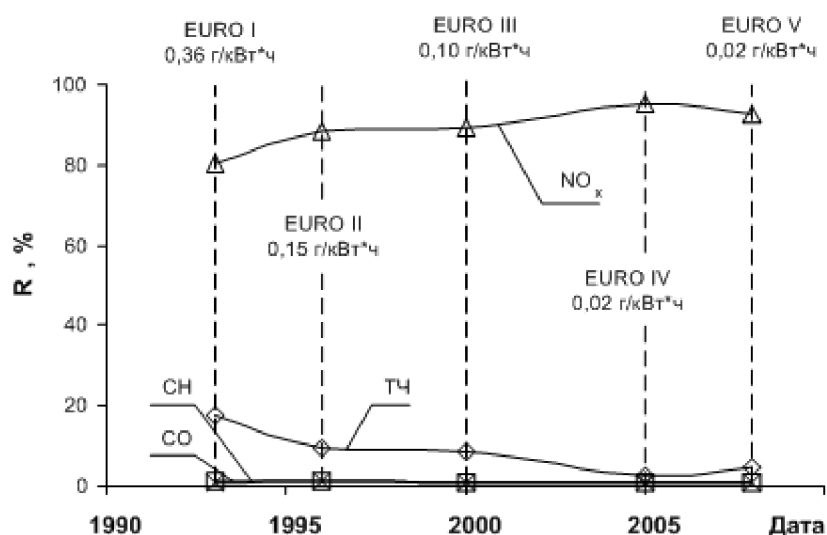


Рисунок 1.2 – Динаміка змінювання величин R_i в результаті зменшення норм токсичності ВГ дизелів EURO

Таблиця 1.5 – Європейські норми викидів забруднюючих речовин
грузовими автомобілями і автобусами

Норматив	Рік введення	Питомі викиди m , г/кВт·год			
		CO	CH	NO _x	ТЧ*
EURO-I	1993	4,5	1,1	8,0	0,36
EURO-II	1996	4,0	1,1	7,0	0,15
EURO-III	2000	2,1	0,66	5,0	0,10
EURO-IV	2005	1,5	0,46	3,5	0,02
EURO-V	2008	1,5	0,25	2,0	0,02

Примітка. * приведені норми викидів ТЧ, які визначаються в ході випробувань дизеля за циклом ESC.

Рисунок 1.2 показує, що при переході від норм EURO-I до EURO-V і зменшені допустимих рівнів викидів ТЧ у 18 разів (що є найбільшим зменшенням серед усіх нормованих викидів (рис. 1.3)), індивідуальний внесок ТЧ у сумарну токсичність ВГ дизеля залишається суттєвим.

На рис. 1.4 представлені значення величин R_i , які отримані на основі результатів випробувань магістрального – 2ТЭ116 та маневро-вого – ТЕМ-2 тепловозів за екологічними циклами ДСТУ 32.001-94 і ISO 8178-F [5,16]. Представлені данні свідчать про те, що внесок ТЧ у сумарну токсичність ВГ дизелів вітчизняних тепловозів складає 12...17%.

Таким чином, разом з оксидами азоту ТЧ на 95...97% визначають токсичну дію ВГ дизелів та є речовиною, якій приділяється основна увага при розробці заходів з екологічної безпеки дизеля та забезпеченню ефективного контролю її кількісних показників.

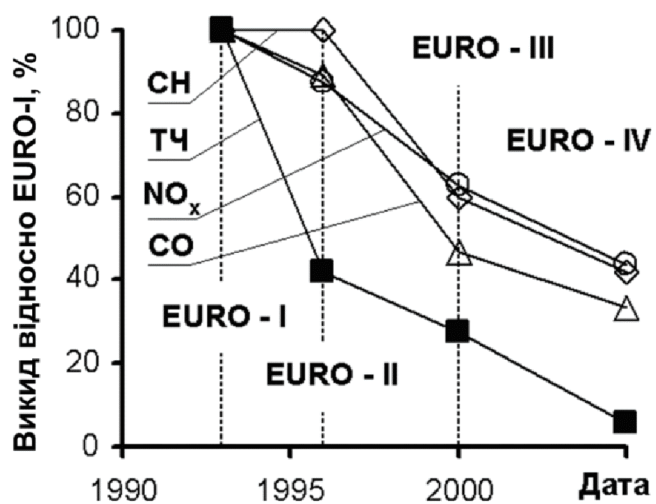
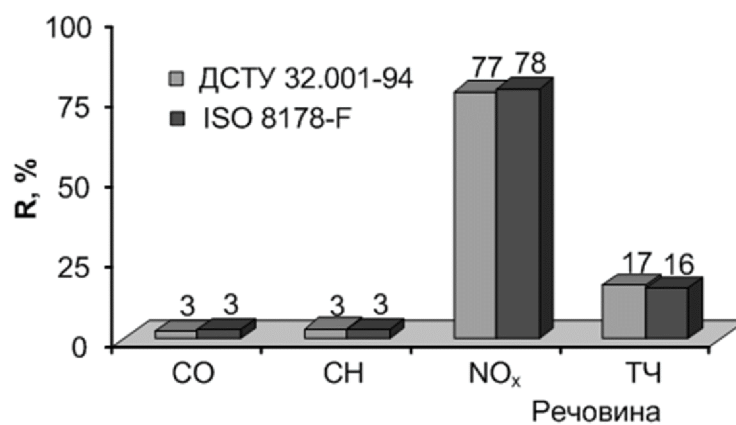
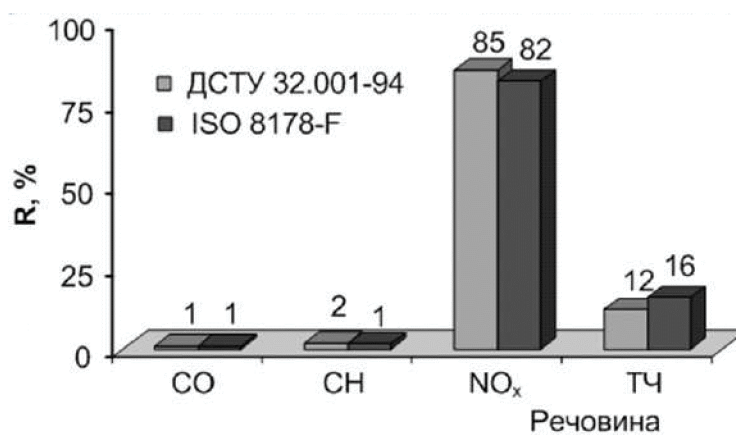


Рисунок 1.3 – Динаміка зменшення європейських норм викидів забруднюючих речовин з ВГ автомобільних дизелів



а



б

Рисунок 1.4 – Відносний внесок основних забруднюючих речовин у сумарну токсичність ВГ тепловозів: а – магістрального 2ТЭ116; б – маневрового ТЕМ-2

Токсикологічна характеристика дизельних частинок. У 90-х роках двадцятого сторіччя проведені масштабні дослідження з токсикології дизельних ВГ у цілому й токсикології дизельних частинок, зокрема. Всесвітньою організацією охорони здоров'я World Health Organization (WHO), Міжнародним агентством онкологічних досліджень International Agency for Research on Cancer (IARC) [30], Інститутом охорони здоров'я США USA Health Effect Institute (HEI) [31], Агентством по охороні навколишнього середовища США USA Environmental Protection Agency (EPA) [32, 33] зроблений висновок про те, що дизельні ВГ й у тому числі ТЧ є причиною підвищення загальної захворюваності і смертності населення. Особливу небезпеку дизельні ТЧ представляють для осіб, що працюють у безпосередній близькості від джерел викидів дизельних частинок, осіб із хронічними захворюваннями органів подиху, серцево-судинної системи, порушеннями імунної системи, дітей.

Симптоми ефектів від короткочасного впливу невисоких рівнів ВГ дизелів визначені за допомогою медичних досліджень професійних груп, що періодично зазнають впливу ВГ, таких як шахтарі, робітники автобусних парків, судноверфей, локомотивних депо. Перелік виникаючих відхилень включає: запалення слизоватих оболонок очей, головний біль, запаморочення, нудоту, слабкість, дзвін у вухах, гноблення діяльності легенів, кашель, задишку і т.п. Після покидання зони роботи дизельної установки ці симптоми в основному швидко зникають, не залишаючи після себе яких-небудь помітних відхилень.

Встановлено, що ТЧ і їх екстракти є мутагенами для бактерій і для клітинних культур, таких як, наприклад, людські лімфоцити, клітки репродуктивних органів [31–35]. Канцерогенна активність ТЧ у цей час знаходить усе більше підтвердження. Дизельні частинки віднесені Міжнародним агентством онкологічних досліджень (IARC) до групи сильно підозрюваних канцерогенів для людини [36], а Агентством по охороні навколишнього середовища США визначені як речовини, які можуть бути

канцерогенами з високим ступенем імовірності [30]. У результаті більш ніж 30 дослідницьких робіт, виконаних Інститутом охорони здоров'я США (Health Effect Institute) у різних регіонах, для різних професійних груп, для курців і некурців, встановлене, що довгочасний професійний вплив дизельних ВГ, на людину веде до збільшення відносного ризику виникнення рака легенів на 40% [37]. Багато в чому саме завдяки частинкам дизельні ВГ, отримали таку характеристику. Це пов'язане із властивостями ТЧ, зокрема з їхньою високою дисперсністю та хімічним складом.

Порівняння картини осідання частинок у різних відділах дихальної системи з дисперсним складом дизельного аерозолі доводить, що ТЧ є потенційно небезпечним агентом забруднення легенів у силу своїх дрібних розмірів. Причому, загрозу для здоров'я нарівні із частинками діаметром 0,1...1 мкм, масова концентрація яких досягає 80%, а коефіцієнт осідання у легенях – 40%, представляють частинки діаметром меншим 0,1 мкм, чия рахункова концентрація може досягати декількох десятків мільйонів штук на 1 м³ при коефіцієнті осідання в легенях близько 70%.

В цілому в легенях дорослої людини при подиху в спокійному стані осідає від 12 до 20% маси дизельних частинок, що знаходяться у вдихуваному повітрі. У дитячому віці частка ТЧ, що осідають у легенях вище, ніж у дорослої людини, причому пік цієї залежності припадає на 5-річний вік [57]. Таким чином, можна припустити, що діти є другою групою ризику, після працюючих у безпосередній близькості від джерел викидів ТЧ.

1.3 Методика гравіметричних вимірювань викидів ТЧ

У відповідності до вимог нормативних документів [1–3] вимірювання викидів ТЧ проводиться на гальмівному випробувальному стенді дизеля з приєднаною системою розбавлення ВГ з використанням спеціальних технічних засобів для визначення маси ТЧ.

Гравітаційна розрахункова камера: вона має хороший уловлюючий ефект на частинки пилу вище 50 μm , а ефективність видалення пилу низька (40 ~ 60%); Процес, при якому тверді частинки, зважені в рідині, тонуть і відокремлюються від рідини. Вона спирається на дію гравітаційного поля Землі, використовуючи різницю в щільності між частинками і флюїдами, щоб змусити їх осідати у відносному русі, тобто гравітаційному седиментації. Гравітаційне осідання - найпростіший спосіб відділення частинок пилу від повітряного потоку. Тільки коли частинки більше, а швидкість руху повітря мала, роль гравітаційного осідання більш очевидна.

Частинки дисперсної системи, зважені в середовищі, схильні до сили тяжіння і плавучості, а піддані їм чисті сили складають:

$F=V(\rho-\rho_0)g$ у формулі V - обсяг однієї частинки; ρ і ρ_0 - щільності частинок і середовища відповідно; g - прискорення вільного падіння. Якщо $\rho > \rho_0$, частка тоне; Зворотний напрямок - вгору. Тому до тих пір, поки щільність частинки і середовища не рівні, частинка повинна бути зосереджена в одному напрямку під дією гравітаційного поля, або опуститися на дно ємності або поплисти на верхньому шарі середовища. Однак, з іншого боку, через концентрацію частинок система має різницю в концентраціях, що надає дифузійний ефект. Дифузія і розселення - це два протилежних процесу. Седиментація концентрує частинки уздовж напрямку осідання; Дифузія, з іншого боку, призводить до рівномірного розподілу частинок по всьому середовищу. У момент появи частинки дифузія грає головну роль, тому дисперсійна система динамічно стійка. Коли частка велика, поселення відіграє головну роль, частинка осідає в гравітаційному полі, система нестабільна, і це має місце груба дисперсійна система. У проміжному стані седиментація і дифузія збалансовані, а концентрація частинок в середовищі має збалансований розподіл з різною висотою.

1.3.1 Технічні засоби для визначення маси ТЧ.

Для відбору проб ТЧ використовуються фільтри на скловолоконній основі з фторвуглецевим покриттям з коефіцієнтом уловлювання частинок DOP (діоктилфтолату) діаметром 0,3 мм більшим, ніж 99%. Рекомендовані діаметри фільтрів складають 47 мм та 70 мм; допускається використання фільтрів більшого діаметру – 90 мм і 110 мм (при цьому мінімальна маса навішування на фільтр складає 0,065 мг / 1000 мм² площі плями частинок, що збираються); використання фільтрів з діаметром, меншим за 47 мм не дозволяється. Швидкість проходження газу через фільтр повинна знаходитись у діапазоні 35...100 см/с. Падіння тиску на фільтри в завершальній фазі випробувань не повинно перевищувати 25 кПа у порівнянні з тиском на початку випробувань. Рекомендовані мінімальні маси навішувань на фільтри з діаметрами 47, 70, 90 та 110 мм складають 0,11, 0,25, 0,41 та 0,62 мг, відповідно.

Камера для стабілізації та зважування фільтрів. Температура – t_{st} , абсолютна вологість – A_{st} (визначається за температурою точки роси) та відносна вологість – φ_{st} у камері (або приміщенні), де відбувається кондиціонування та зважування фільтрів повинні підтримуватись у діапазонах: $295\text{ K} \pm 3\text{ K}$ ($22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$), $282,5\text{ K} \pm 3\text{ K}$ ($9,5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) та $45\% \pm 8\%$, відповідно. Повітря камери (або приміщення) не повинно містити ніяких забруднюючих речовин (наприклад, пил), які могли б осідати на фільтрі для збору частинок під час їхньої стабілізації. Відхилення від вимог щодо значення параметрів t_{st} , A_{st} та φ_{st} допускаються в тому випадку, якщо їх тривалість не перевищує 30 хв.

Процедура зважування фільтрів. Для зважування фільтрів використовуються аналітичні ваги, які повинні мати похибку (середньоквадратичне відхилення) не більшу за 2 мкг та роздільну здатність не менш ніж 1 мкг (1 поділ = 1 мкг), які зазначені виготовителем приладу.

Перед початком випробувань, не менш ніж за годину до цього, кожний фільтр поміщають в закриту, но не запечатану чашку Петрі, яка захищається від попадання пилу, і встановлюється з метою стабілізації у камеру для зважування. По закінченню періоду стабілізації робочий фільтр зважують та реєструють його суху масу. Після цього фільтр зберігають у закритій чашці Петрі або в запечатаному фільтротримачі до моменту, поки він не знадобиться для випробувань. Фільтр необхідно використати протягом восьми годин після його витягання з камери для стабілізації.

Після проведення випробувань фільтри знову поміщають в камеру для зважування та витримують там протягом періоду стабілізації t_{st} , який дорівнює 1...80 год. Після витримки фільтри зважують, реєструють їх загальну масу, з якої віднімають масу сухих фільтрів, що в результаті складає масу ТЧ, які зібрані протягом циклу – m_f або режиму – m_{fi} випробувань.

Одночасно з робочими фільтрами зважуються не менш ніж 2 чистих еталонних фільтри, які мають той самий розмір та виготовлені з того самого матеріалу, що і фільтри для відбору ТЧ. Якщо за час випробувань середня маса еталонних фільтрів змінюється більш ніж на 10мкг, то всі фільтри для відбору проб вибраковуються та випробування повторюються.

1.3.2 Випробувальні цикли для встановлення середньоексплуатаційних викидів ТЧ.

Середньоексплуатаційний викид ТЧ (показник PT) визначається в ході випробувань дизеля за циклом, який складається з певної кількості режимів з встановленими значення числа обертів колінчастого валу – n , навантаження – L , вагового фактору – WF (враховує відносний час роботи дизеля на режимі в процесі експлуатації) та тривалості випробувань – τ .

Для випробувань автомобільних дизелів використовується Європейський стаціонарний цикл ESC (від «European Stationary Cycle»), встановлений Правилами ЄЕК ООН R-49 [1] (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Режими випробувального циклу ESC (R-49)

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

Значення чисел обертів *A*, *B* та *C*, які є визначальними для циклу ESC (рис. 1.5), встановлюються за допомогою виражень:

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

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

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

де n_{lo} – найменше число обертів, при якому досягається 50% заявленої ефективної потужності двигуна – *P*;

n_{hi} – найбільше число обертів, при якому досягається 75% від *P*.

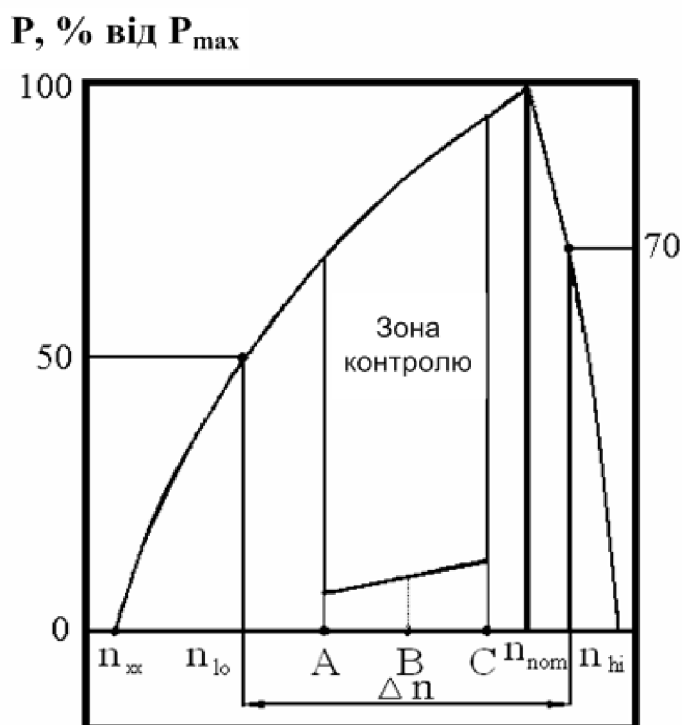


Рисунок. 1.5 – Визначальні значення числа обертів для циклу ESC

При випробуваннях тепловозних дизелів використовують цикли: міжнародний, встановлений стандартом ISO 8178 [3–5], який складається з 3-х режимів, та його вітчизняний аналог – 5-ступінчастий цикл ДСТУ 32.001-94 [16] (табл. 1.7).

Випробування дизелів сільськогосподарського призначення проводяться у відповідності до Правил ЄЕК ООН R-96 [3] за циклом, який складається з 8-ми режимів (табл. 1.8).

Випробування дизеля за циклом. Після запуску та прогрівання дизелю встановлюють потрібні умови розбавлення ВГ повітрям у тунелі. При цьому температура повітря, яким розбавляються ВГ, – t_{dil} може варіюватись в діапазоні 25 ± 5 °С; масова витрата газового потоку в тунелі встановлюється такою, щоб максимальна температура пробі перед фільтром для відбору ТЧ – $t_{f(\text{max})}$ не перевищувала 52 °С і не була меншою за 42 °С; коефіцієнт розбавлення ВГ в тунелі не повинен бути меншим ніж 4.

Таблиця 1.7 – Випробувальні цикли тепловозних дизелів

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

Примітка. Скорочення означають: Магіст., Вивозн., Маневр. – робота тепловозу: магістральна, вивозна та маневрова, відповідно.

Таблиця 1.8 – Випробувальний цикл дизелів сільськогосподарського призначення

№реж	<i>n</i>	<i>L, %</i>	<i>WF</i>
1	ном.	100	0,15
2		75	0,15
3		50	0,15
4		10	0,1
5	пром.	100	0,1
6		75	0,1
7		50	0,1
8	хол.хід	-	0,15

Після підготовки системи розбавлення ВГ розпочинають послідовне виконання випробувального циклу. На кожному режимі дизель працює протягом встановленого періоду часу. При цьому потрібні число обертів вала

двигуна та навантаження повинні досягатися протягом перших 20 с. Допустимі відхилення цих параметрів від встановлених значень не повинні перевищувати $\pm 50 \text{ хв}^{-1}$ і $\pm 2\%$ (при заданому числу обертів), відповідно. Допускається проведення повторних випробувань дизеля за циклом достатню кількість разів для накопичення на фільтрі більшої кількості ТЧ.

На кожному режимі випробувань проводиться відбір проб ТЧ на робочий фільтр (при випробуванні автомобільних дизелів за циклом ESC використовується один фільтр протягом циклу). Кількість відібраної проби на режимі випробувань повинна бути пропорційною відповідному ваговому коефіцієнту. Це досягається шляхом регулювання масової витрати потоку проби, часу відбору проб або коефіцієнта розбавлення ВГ. Час відбору проб на кожному режимі повинен складати не менш, ніж 4 с на 0,01 вагового коефіцієнту. Відбір проб ТЧ рекомендується здійснювати як можна пізніше, при цьому закінчити його потрібно не раніше, ніж за 5 с до завершення часу роботи дизеля на режимі.

Після завершення випробування визначають масу ТЧ, зібрану на фільтрі, за описаною вище процедурою.

1.3.3 Розрахунок масових та середньоексплуатаційних викидів ТЧ.

Масові викиди ТЧ з ВГ дизеля на окремих режимах випробувань $-PT_{massi}$ визначаються за формулою:

$$PT_{massi} = \frac{m_{fi}}{m_{sami}} \cdot \frac{G_{edfi}}{1000}, \text{ г/год};$$

де m_{fi} – маса ТЧ на фільтрі, яка зібрана на i -му режимі, мг;

m_{sami} – маса проби розбавлених ВГ, яка пройшла крізь фільтр за режим, кг;

G_{edfi} – еквівалентна масова витрата розбавлених ВГ на i -му режимі (дорівнює масовій витраті потоку розбавлених ВГ у еталонній системі), кг/год:

$$G_{edfi} = G_{exhi} \cdot q_i,$$

де q_i – коефіцієнт розбавлення ВГ на i -му режимі;

G_{exhi} – масова витрата ВГ дизеля на i -му режимі, кг/год.

Середньоексплуатаційний пікид ТЧ з ВГ дизеля – PT визначається, як відношення середніх за цикл масового викиду ТЧ – PT_{mass} та ефективної потужності дизеля – \bar{P} :

$$PT = \frac{PT_{mass}}{\bar{P}}, \text{ г/кВт}\cdot\text{год}, \quad (1.1)$$

Величина PT_{mass} розраховується за формулою

$$PT_{mass} = \frac{m_f}{m_{sam}} \cdot \frac{\overline{G_{edf}}}{1000}, \text{ г/год}, \quad (1.2)$$

де m_f – маса ТЧ, зібрана на фільтрі за цикл, мг;

m_{sam} – маса проби розбавлених ВГ, яка пройшла через фільтр за цикл при умові, що величини m_{sami} є пропорційними відповідним ваговим факторам – WF_i (при 2-кратному розбавленні ВГ $m_{sam} = m_{sam2} - m_{dil2}$, де m_{sam2} , m_{dil2} – маси розбавлених ВГ і повітря, які пройшли через фільтр за цикл), кг;

$\overline{G_{edf}}$ – середня еквівалентна масова витрата розбавлених ВГ у тунелі, кг/год.

Величини, які входять до формули (1.2), визначаються наступним чином:

$$m_{sam} = \sum_{i=1}^n m_{sami}, \quad (1.3)$$

де n – кількість режимів у циклі;

$$\overline{G_{edf}} = \sum_{i=1}^n WF_i \cdot G_{edfi}, \text{ кг/год}. \quad (1.4)$$

Для розрахунку \bar{P} використовують формули:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^N (P_i \cdot WF_i), \text{ кВт}, \quad (1.5)$$

де P_i – ефективна потужність дизеля на i -му режим, кВт;

$$P_i = \frac{n_i \cdot M_{ki}}{9550} - P_{auxi}, \text{ кВт}, \quad (1.6)$$

де n_i – число обертів вала двигуна на i -му режимі, хв⁻¹;

M_{ki} – крутний момент на i -му режимі, Н·м;

P_{auxi} – потужність допоміжного обладнання на i -му режимі, кВт.

Відповідність проведеної процедури вимірювань встановленим вимогам оцінюють за ефективними ваговими коефіцієнтами WF_i :

$$WF_i = \frac{m_{sami} \cdot \overline{G_{edfi}}}{m_{sam} \cdot G_{edfi}}.$$

Розходження регламентованих та ефективних вагових коефіцієнтів повинні знаходитись в межах $\pm 0,003$ (для холостого ходу – $\pm 0,005$). При виконанні цієї умови результати випробувань признаються дійсними.

Таким чином показник PT – це величина, яка визначається непрямым шляхом в результаті проведення розрахунків за даними прямих вимірювань величин: m_f , m_{sam} , q_i , G_{exhi} , n_i та M_{ki} (рис. 1.6).

При виконанні стандартної процедури вимірювань величини PT слід враховувати таку її особливість, як вплив температурного режиму відбору проб ТЧ (характеризується температурами t_{fi} , які залежать від величин t_{dil} , $t_{f(max)}$ та $\Delta t_{f(52)}$) та умов стабілізації фільтру (характеризуються величинами τ_{st} і t_{st}) на масу РОФ, а через це і масу ТЧ в цілому – m_f . Зміни t_{dil} , $t_{f(max)}$, $\Delta t_{f(52)}$ та τ_{st} , t_{st} зміщують рівновагу процесів конденсації-випаровування РОФ в той чи інший бік.

1.3.4 Фактори, що впливають на точність гравіметричних вимірювань викидів ТЧ.

Варіювання даних величин в допустимих межах призводить до виникнення методичних похибок вимірювання показника PT , які утворюються на етапах пробопідготовки – δPT_{tf} та стабілізації фільтру – δPT_{st} внаслідок

розходження результатів визначення m_f . Результати досліджень закордонних та вітчизняних авторів (рис. 1.7) свідчать про наступне [42, 50, 51, 53]:

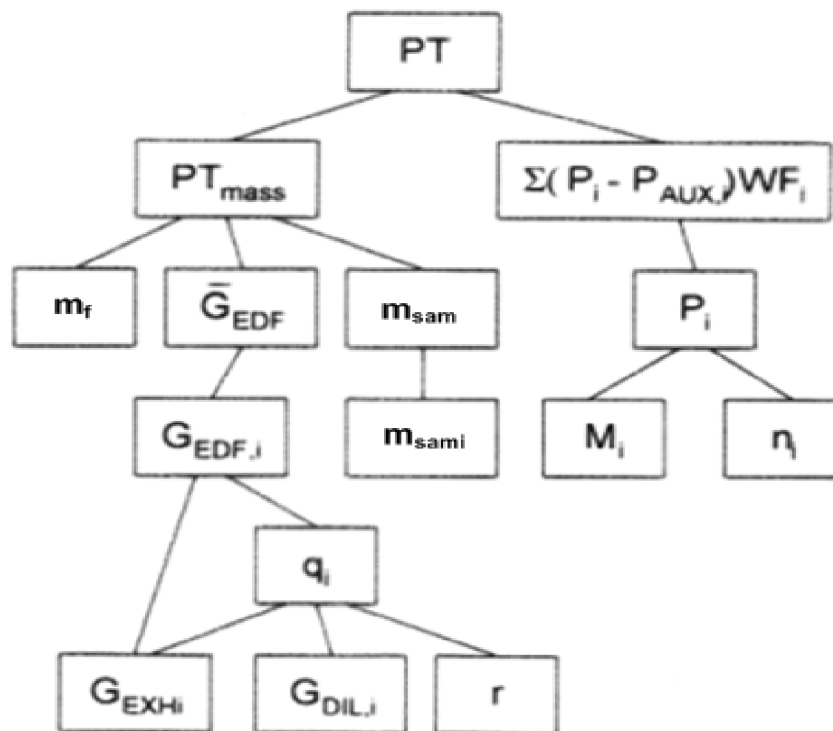


Рисунок. 1.6 – Алгоритм визначення середньоексплуатаційного викиду ТЧ дизеля при використанні мінітунелю з ізокінетичним пробовідбірником

– при збільшенні температури t_f маса навішування ТЧ – m_f знижується; при цьому для опису впливу вказаної температури на величину m_f можна використовувати лінійну залежність вигляді:

$$\delta m_f^{tf} = \frac{m_f^{tf} - m_f^{tf0}}{m_f^{tf0}} \cdot 100\% = k_{tf} \cdot (t_f - t_{f0}),$$

де δm_f^{tf} – відносне відхилення маси навішування ТЧ при температурі проби t_f – m_f^{tf} від базового значення m_f^{tf0} , яке відповідає температурі проби t_{f0} , прийнятій за базову (у даних, представлених на рис. 1.7, а – $t_{f0} = 45$ °С);

k_{tf} – коефіцієнт пропорційності, який залежить від режиму роботи двигуна: при збільшенні потужності дизеля його величина зменшується (за рахунок зменшення частки РОФ у складі ТЧ);

– при збільшенні періоду стабілізації фільтру τ_{st} маса навішування ТЧ знижується за рахунок зменшення кількості вуглеводневої фракції, частина якої випаровується з поверхні фільтру; при цьому для опису впливу величини τ_{st} на вагову характеристику ТЧ можна використовувати логарифмічну залежність:

$$\delta m_f^{\tau_{st}} = \frac{m_f^{\tau_{st}} - m_f^{\tau_{st0}}}{m_f^{\tau_{st0}}} \cdot 100\% = k_{\tau_{st}} \cdot \lg\left(\frac{\tau_{st}}{\tau_{st0}}\right),$$

де $\delta m_f^{\tau_{st}}$ – відносне відхилення маси навішування ТЧ при тривалості стабілізації τ_{st} – $m_f^{\tau_{st}}$ від базового значення $m_f^{\tau_{st0}}$, яке відповідає часу витримки фільтру τ_{st0} , який прийнято за базовий (у даних, що представлені на рис. 1.7, б – $\tau_{st0} = 2$ год);

$k_{\tau_{st}}$ – коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від температури t_{st} .

Слід відзначити, що для врахування спільного впливу величин τ_{st} і t_{st} на масу навішування ТЧ слід використовувати функцію 2-х змінних, яка японськими фахівцями не досліджувалася.

$$\delta m_f^{st} = \frac{m_f^{st} - m_f^{st0}}{m_f^{st0}} \cdot 100\% = f(\tau_{st}, t_{st}),$$

де δm_f^{st} – відносне відхилення маси навішування ТЧ при стабілізації фільтру з тривалістю τ_{st} і температурою t_{st} – m_f^{st} від базового значення m_f^{st0} , яке відповідає періоду стабілізації τ_{st0} і температурі t_{st0} , які прийняті за базові значення.

Таким чином при оцінюванні методичних похибок вимірювання показника $PT - \delta PT_{tf}$ та δPT_{st} слід враховувати наступне:

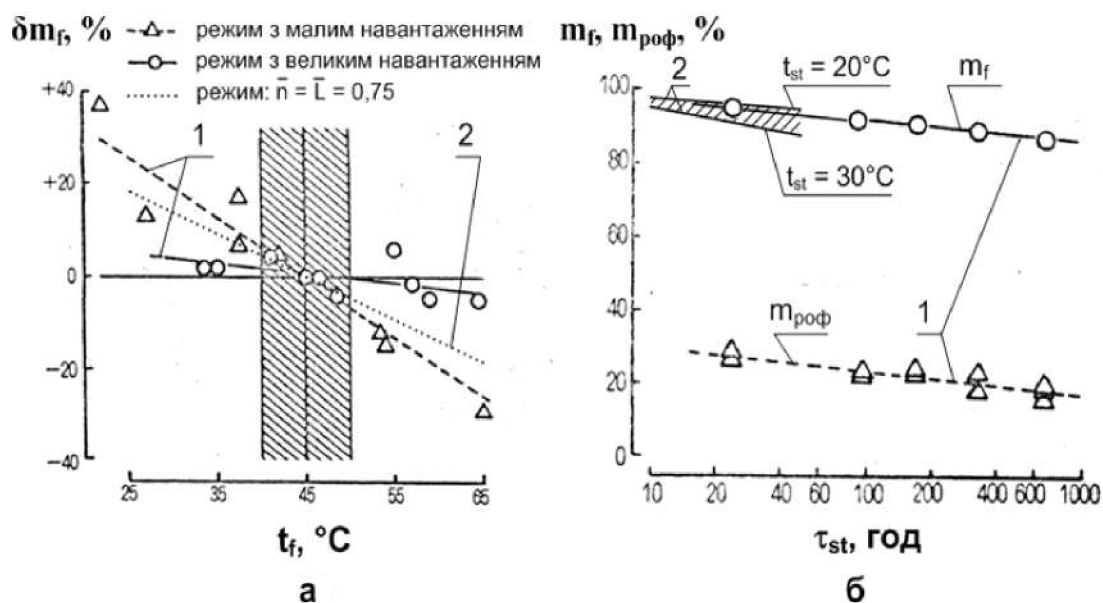


Рисунок 1.7 – Експериментальні дані про вплив температури проби t_f (а) та умов стабілізації фільтру t_{st}, τ_{st} (б) на масу навішення ТЧ m_f : 1 – результати досліджень фірми Mitsubishi; 2 – результати досліджень вітчизняних авторів.

1) вплив температури t_f на m_f може приблизно оцінюватись лінійною залежністю, коефіцієнт пропорційності якої зменшується з ростом навантаження (оскільки при цьому зменшується доля РОФ у ТЧ);

2) величина m_f зменшується пропорційно зростанню температури t_{st} та десяткового логарифму від τ_{st} за рахунок втрати маси РОФ в наслідок її випаровування.

1.4 Висновки до першого розділу

1. Для підвищення ефективності методів контролю ваги твердих частинок дизельних частинок у вихлопних газах автомобілів потрібне вивчення не тільки умов його експлуатації, а й існуючих методів характеристики, організації планів.

2. ТЧ (друга за значимістю після оксидів азоту забруднююча речовина, що міститься у ВГ дизеля) являє собою полікомпонентне утворення з трьома

основними компонентами: дизельною сажою, розчинною органічною фракцією – РОФ та сульфатами, відносні частки яких залежать від режиму роботи дизеля і складають 33...90%, 7...49% та 1...4%, відповідно. Висока токсичність ТЧ обумовлена входженням до складу РОФ речовин з дратівливою, мутагенною та канцерогенною діями.

3. Процедури вимірювань нормованих середньоексплуатаційних викидів ТЧ – показників PT являють собою випробувальні цикли, які складаються з певної кількості сталих режимів роботи дизеля з встановленими значеннями числа обертів вала двигуна і навантаження. При випробуваннях автомобільних дизелів використовують 13-ступінчастий цикл ESC, встановлений Правилами ЄЕК ООН R-49, дизелів сільськогосподарського призначення – 8-ступінчастий цикл, встановлений Правилами ЄЕК ООН R-96, тепловозних дизелів – 3-ступінчастий цикл, встановлений міжнародним стандартом ISO 8178-F (вітчизняний аналог – цикл ДСТУ 32.001-94) та ін. Значимість окремого режиму випробувань враховується відповідним ваговим фактором WF . Показник PT розраховується непрямым шляхом на основі результатів прямих вимірювань величин, що визначають середні за цикл масовий викид ТЧ та ефективну потужність дизеля.

4. При виконанні стандартної процедури вимірювань показника PT слід враховувати таку її особливість, як вплив температурного режиму відбору проб ТЧ (характеризується температурами повітря – t_{dil} і проби перед фільтром – t_f та величиною зниження t_f внаслідок охолодження тунелю – $\Delta t_{f(52)}$) та умов стабілізації робочого фільтру перед зваженням (характеризуються температурою – t_{st} та тривалістю – τ_{st} стабілізації) на масу ТЧ, що визначається – m_f . Варіювання величин t_{dil} , t_f , $\Delta t_{f(52)}$ та t_{st} , τ_{st} в допустимих нормативними документами діапазонах приводить до виникнення методичних похибок вимірювань показника PT , які утворюються на етапах пробопідготовки – δPT_{t_f} та стабілізації фільтру – $\delta PT_{t_{st}}$ внаслідок розходження результатів визначення величини m_f . Величини δPT_{t_f} та $\delta PT_{t_{st}}$ разом з інструментальною похибкою δPT_{in} утворюють результуючу похибку вимірювань показника PT – δPT .

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРАВІМЕТРИЧНОГО ТА РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТЧ – МІКРОТУНЕЛЬ МКТ-2

Мікротунель МКТ-2 – компактна автоматизована частково-поточна система контролю викидів ТЧ від дизелів різного призначення, спроектована у відповідності до вимог міжнародних нормативних документів [1–3].

Експериментальна установка була зібрана на базі моторного стенду дизельного двигуна автотрактора 4ЧН12/14, оснащеного засобами управління і приладами управління параметрами, що характеризують стабільні і нестабільні режими роботи двигуна, а також автоматизованої системи гравіметричного контролю ТЧ – мікротунелів МКТ-2 (рис. 2.1).

2.1 Принцип дії, основні елементи та технічні характеристики МКТ-2.

Принцип дії мікротунелю МКТ-2 полягає у наступному (рис. 3.27). Мікротунель МКТ-2 являє собою вимірювальний комплекс до складу якого входять наступні основні елементи (рис. 2.2–2.4).

1) Система розбавлення частки ВГ (0,02...1,2 %) повітрям, яка поєднує у собі три підсистеми:

а) систему відбору частки потоку ВГ, до якої входять:

– пробовідбірник – трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 6 мм і довжиною 80 мм, виготовлений у двох виконаннях, які передбачають установку пробовідбірника паралельно (виконання 1) та перпендикулярно (виконання 2) потоку ВГ;

– трубопровід транспортування проби – ТП з внутрішнім діаметром 6 мм та малою довжиною (для зменшення теплових втрат і осадження ТЧ) – 80 мм;

– регулятор витрати ВГ, який плавно перекидає перетин ТП від повністю закритого до повністю відкритого стану;

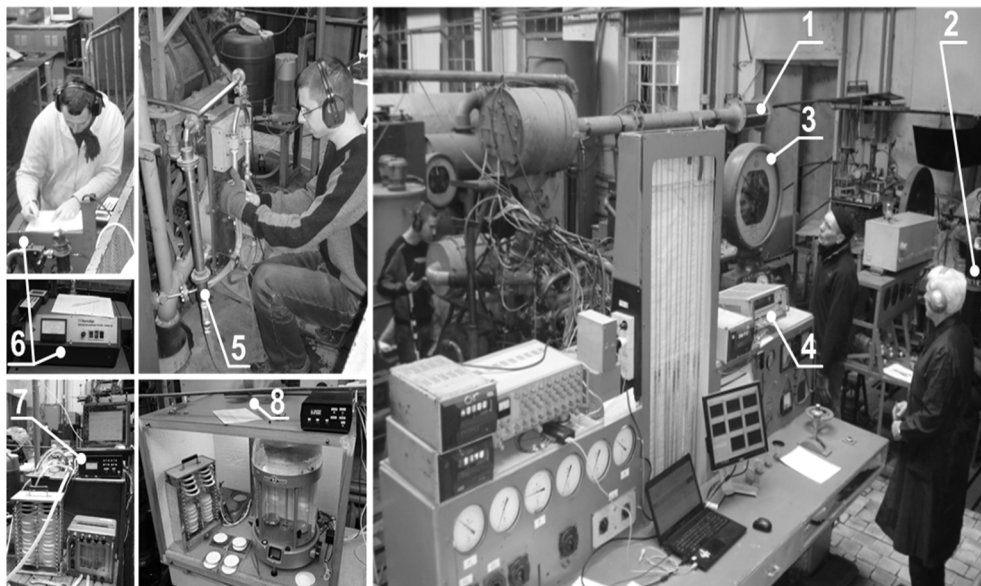


Рисунок.2.1 – Загальний вигляд стійки моторного дизеля 4Чн12 / 14 з мікротунелями МКТ-2:

1 - масовий витратомір повітря; 2 - витратомір маси палива; 3 - вимірювач крутного моменту; 4 - міра кількості оборотів колінчастого вала двигуна; 5 - система гравіметричного контролю ТЧ - мікротунелі МКТ-2; 6 - вимірювач диму вихлопних газів; 7 - електронний модуль управління МКТ-2, 8 - камера для стабілізації і зважування фільтрів.

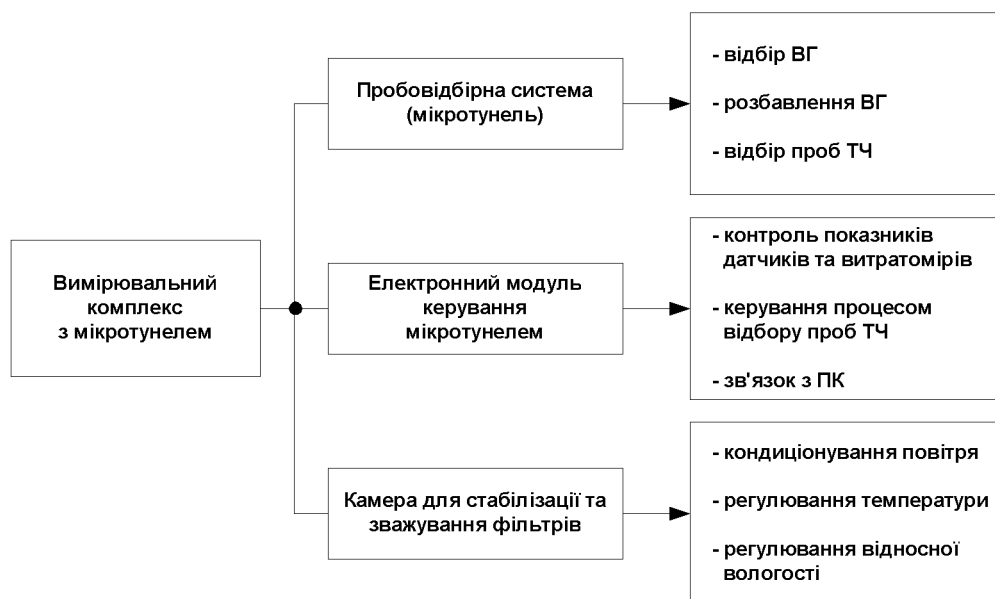


Рисунок 2.2 – Елементи МКТ-2 та функції, які вони виконують



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд елементів вимірювального комплексу МКТ-2

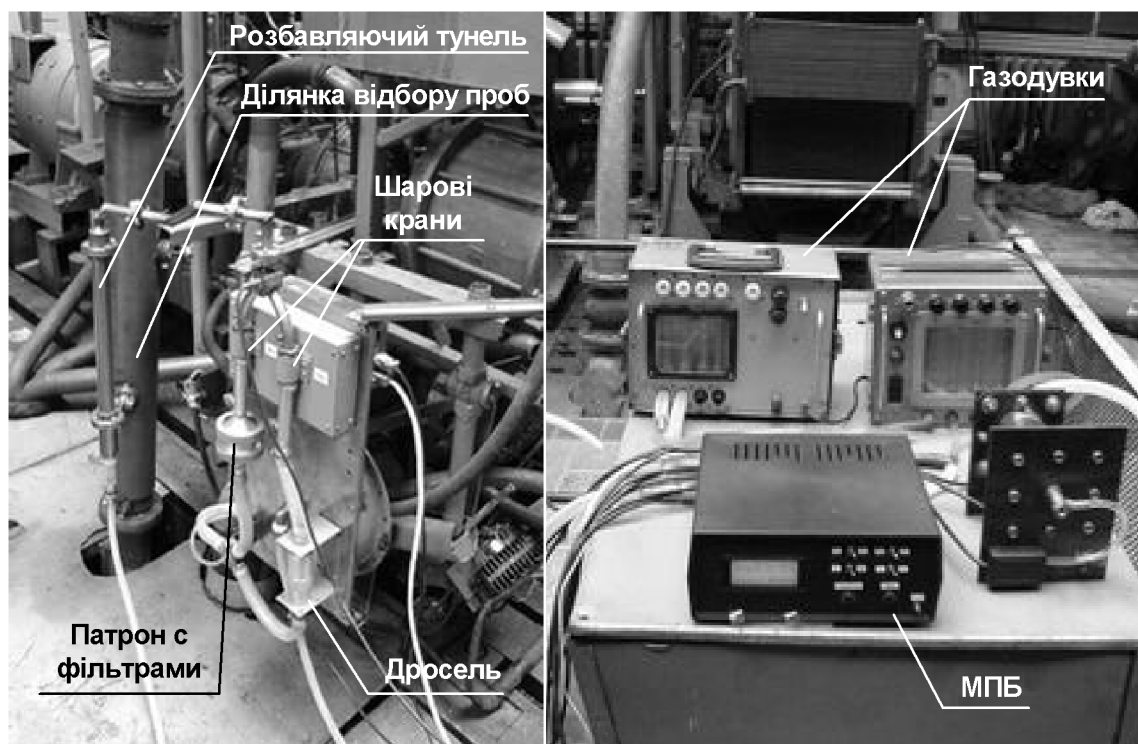


Рисунок 2.4. Загальний вигляд МКТ-2 на стенді автотракторного дизеля 4ЧН12/14

б) систему розбавлення ВГ, має такі складові:

- розбавляючий тунель – РТ – трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 30 мм і довжиною 300 мм;
- діафрагму, яка встановлюється на вході в тунель з метою покращення процесу змішування ВГ з повітрям;
- газодувку з продуктивністю 20...120 л/хв, яка є одночасно й пробовідбірним насосом;
- витратоміри газового потоку розбавлених ВГ у тунелі – G_t (колектор, профільований по дузі окружності з внутрішнім діаметром 8 мм) та потоку компенсованого повітря – G_{com} (нормальне сопло діаметром 3 мм);
- гнучкий полівініловий шланг довжиною 2 м, який пов'язує тунель з колектором.

в) систему відбору проб ТЧ, елементами якої є:

- лінія відбору проб – ЛВ – трубопровід з нержавіючої сталі з внутрішнім діаметром 16 мм і довжиною 950 мм;
- регулятори режимів відбір-байпас – два шарових крани, які знаходяться у протилежних станах;
- байпасна магістраль, в якій встановлено дросель, що вирівнює тиск у байпасній та робочій магістралях;
- робоча магістраль, в якій встановлено патрон з фільтром (або двома фільтрами) для відбору ТЧ (діаметром 70 мм);
- захистний фільтр з паперовим фільтруючим елементом, який застерігає пробовідбірний насос від забруднення ТЧ;

2) електронний модуль управління – до ПК підключений мікропроцесорний блок, до якого підключені датчики і органи управління мікротунелем МКТ-2, цей модуль забезпечує виконання наступних операцій:

- контроль відображення датчиків і витратомірів системи відбору проб;
- управління процесом відбору проб ТЧ – перемикання режимів байпасу і відбору проб;

– передача контрольно-управлінських функцій мікротунелів на ПК, дозволяє реєструвати, обробляти і реєструвати результати вимірювань;

3) камера стабілізації і зважування фільтрів (рис. 4), яка забезпечує встановлені нормативними документами умови вимірювання маси ТЧ; Усередині камери знаходяться:

- система контролю температури повітря в межах 18-40 °С з точністю до ± 1 °С;
- система контролю відносної вологості в межах 40-90% з точністю до $\pm 3\%$;

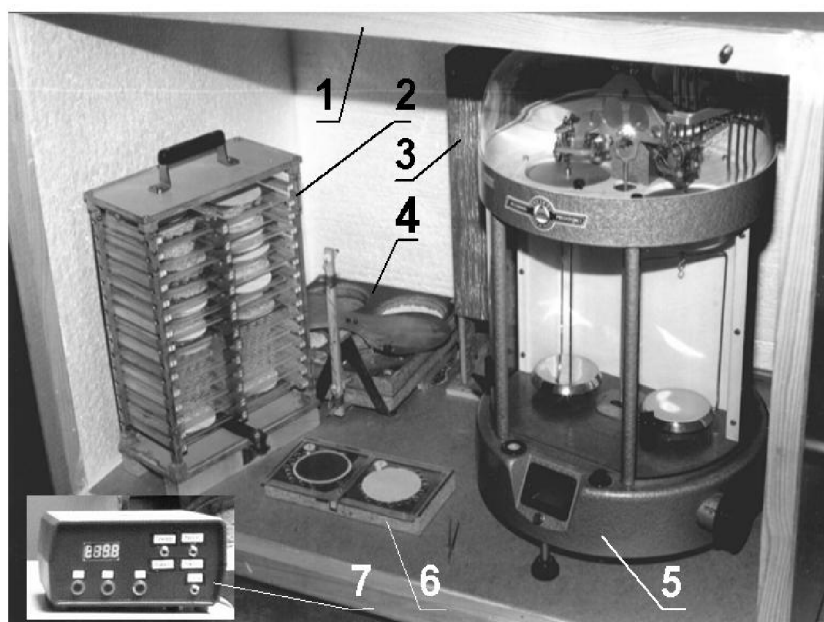


Рисунок 2.5 – Основні елементи камери для для стабілізації та зважування фільтрів:

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

Всередині 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 стабілізації фільтрів всередині камери – t_{st} на заданому рівні (у діапазоні 18...40 °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 – φ_{st} на заданому рівні (у діапазоні 40...90%) з точністю ± 3 %;

– аналітичні ваги з похибкой зважування $\pm 0,1$ мг;

– касета для зберігання робочих фільтрів (ємністю 30 пар фільтрів);

– підставка для фіксації панелі з фільтрами;

– пінцет.

Камера має габарити: L, B, H – 800×600×600 мм; маса камери (з аналітичними вагами) – 40 кг. Тривалість безперервного періоду стабілізації фільтрів може складати до 36 годин. Для зручності транспортування камери на її верхній стінці встановлені дві ручки.

Принцип роботи МКТ-2 полягає в наступному (рис. 2.6). Частина ВГ з масовою витратою G_{exh}^t (визначається компенсаційним способом) відбирається з вихлопної труби двигуна – ВТ і через трубопровід транспортування проби – ТП подається в розбавляючий тунель – РТ, де відбувається її змішування з атмосферним повітрям. З тунелю потік розбавлених ВГ з масовою витратою G_t через один з шарових кранів надходить або в байпасну магістраль, або в робочий канал, в якому встановлений патрон із двома фільтрами для відбору ТЧ. Масова витрата G_t створюється штатною газодувкою ГД1 та підтримується постійною на заданому рівні у відповідності до обраного режиму розбавлення ВГ – $DM1$ або $DM2$. При цьому температура проби перед фільтром t_f не перевищує 52 °С.

Частина ВГ з масовою витратою G_{exh}^t (визначається компенсаційним способом) відбирається з вихлопної труби двигуна – ВТ і через трубопровід транспортування проби – ТП подається в розбавляючий тунель – РТ, де відбувається її змішування з атмосферним повітрям.

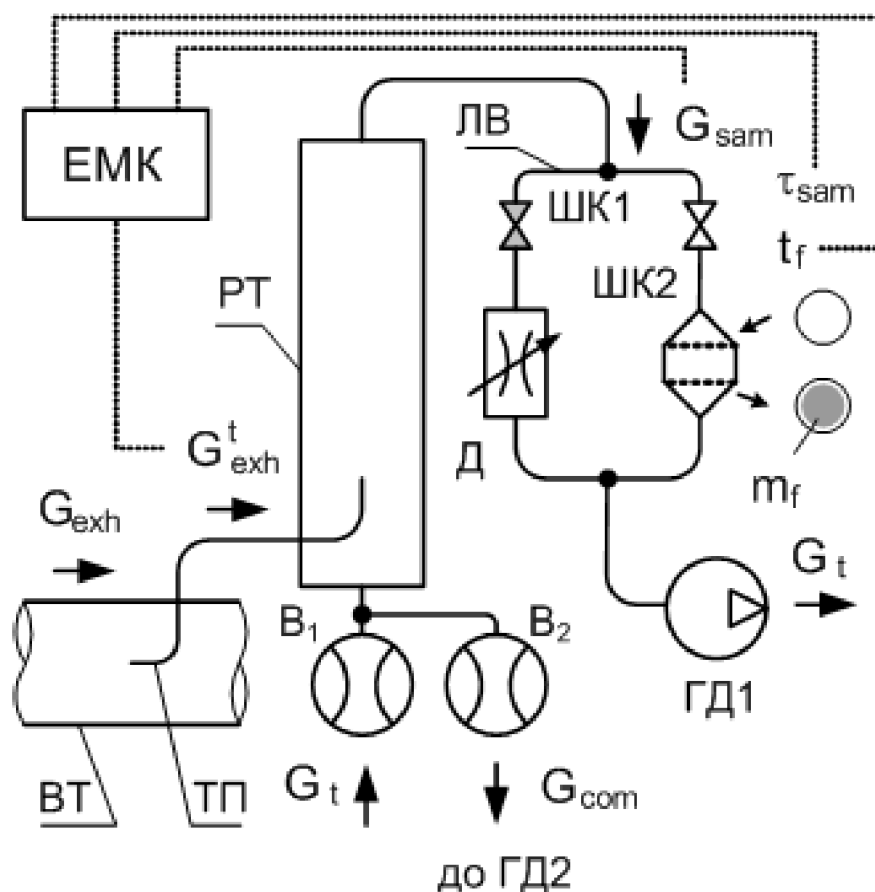


Рисунок 2.6 – Принципова схема мікротунелю МКТ-2

З тунелю потік розбавлених ВГ з масовою витратою G_t через один з шарових кранів надходить або в байпасну магістраль, або в робочий канал, в якому встановлений патрон із двома фільтрами для відбору ТЧ. Масова витрата G_t створюється штатною газодувкою ГД1 та підтримується постійною на заданому рівні у відповідності до обраного режиму розбавлення ВГ – $DM1$ або $DM2$. При цьому температура проби перед фільтром t_f не перевищує $52\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Величина G_t вимірюється витратоміром B_1 – колектором з внутрішнім діаметром 8 мм; для визначення масової витрати потоку компенсованого повітря G_{com} , яка дорівнює величині G_{exh}^t , використовується витратомір B_2 – нормальне сопло [77] з внутрішнім діаметром 3 мм.

Шарові крани К1 і К2, які визначають напрямок руху потоку проби у лінії відбору проб – ЛВ, завжди перебувають у протилежних станах: коли один

відкритий – інший закритий і навпаки. При під-готовці проби до аналізу відкритий кран К1 і розбавлені ВГ про-тікають через байпасную магістраль. За допомогою дроселя Д забез-печується регулювання тиску в даній магістралі таким чином, щоб у момент перемикавання кранів не виникало гідравлічного удару. При виконанні процедури відбору проб ТЧ відкритий кран К2 і весь потік розбавлених ВГ протікає через фільтр. При цьому фіксується тривалість даної процедури – τ_{sam} . Коефіцієнт розбавлення ВГ у тунелі – q визначається за формулою

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

Після завершення випробувань вимірюється маса ТЧ – m_f , як приріст маси робочого фільтру за час випробувань. Для контролю параметрів G_t , G_{com} , τ_{sam} , t_f і керування шаровими кранами К1 і К2 використовується мікропроцесорний блок. У ході виконання вип-робувань усі зазначені величини протоколюються й використо-вуються при визначені масових (г/год), питомих (г/кВт·год) викидів ТЧ на окремих режимах роботи дизеля та середньоексплуатаційного викиду ТЧ з ВГ – показника PT (г/кВт·год).

Технічні характеристики мікротунелю МКТ-2:

– *показники точності вимірювань*: інструментальні похибки вимірювань масових (г/год) та середньоексплуатаційних викидів ТЧ (г/кВт·год) складають 3...10% та 3,5%, відповідно (табл. 3.5) (при допустимих значеннях вказаних похибок: 3...8,5%, та 3,6...5,1%, від-повідно);

– *показники швидкодії*: тривалість підготовки мікротунеля 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 , B , H) – 500×300×1200 – мм, маса (з газодувкою) – 40 кг;

Таблиця 2.1 – Характеристика точності вимірювального комплексу з МКТ-2 при визначенні показника РТ

Параметр	Відносна похибка вимірювання параметру		
	забезпечується МКТ-2	Вимоги Правил R-49-02 та стандарту ISO 8178 [3, 4]	
		Вимірювання на стенді	Вимірювання на об'єкті
M_f	2,7% ($M_f=3,75$ мг)	2,7% ($M_f=0,75$ мг)	
τ_{sam}^{pt}	0,25%	---	
G_{exh}	1,7%	4%	5%
G_{sam}	0,8%	2%	
G_{dil}	0,8%	2%	
P	2% от P_{nom}	2% от P_{nom}	5% от P_{nom}
PT_{mass}	5,1%	6,0%	8,5%
PT	3,5%	3,6%	5,1%

2.2 Електронне забезпечення МКТ-2.

Розроблені два мікропроцесорних блоки (МПБ), один з яких використовувався для керування мікротунелем, другий – камерою для стабілізації та зважування фільтрів (рис. 2.7, 2.8).

Аналіз ринка датчиків тиску показав, що найбільш широкий та повний асортимент пропонує фірма Motorola. Полупровідникова технологія дозволила створити гнучкий елемент датчика тиску у вигляді діафрагми з кремнію, на яку методом іонній імплантації наносять тензорезистивну структуру. З'єднання тензорезистора та мембрани з кремнію на молекулярному рівні дозволяє виключити похибки, що пов'язані з передачею деформації від гнучкого елемента до тензорезистору.

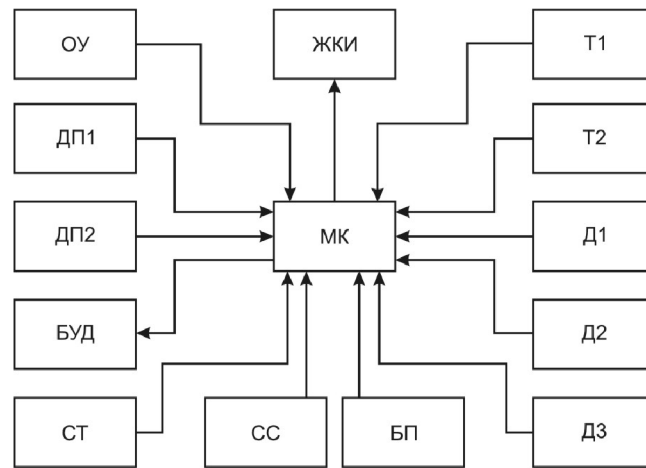


Рисунок 2.7 – Структурна схема МПБ керування мікротунелем:

ОУ – органи управління; ДП1, ДП2 – датчики положення 1-го та 2-го шарових кранів; БУД – блок управління двигунами; СТ – схема тактування мікроконтролера; ЖКИ – рідиннокристалічний індикатор; МК – мікроконтролер; СС – схема сбросу мікроконтролера; БП – блок живлення; Т1, Т2 – датчики температури; Д1, Д2, Д3 – датчики тиску.

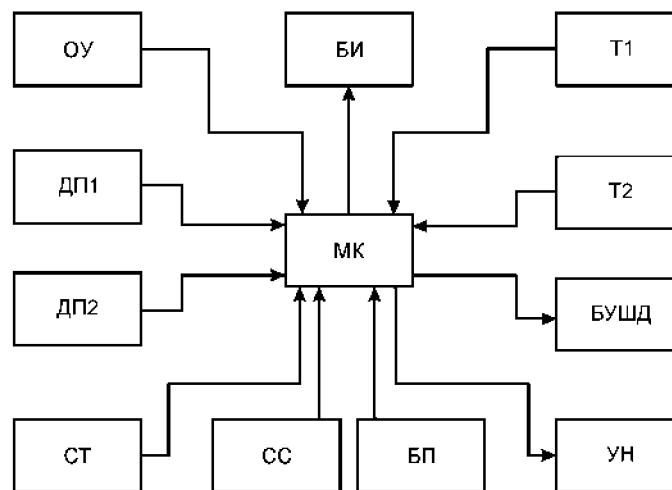


Рисунок. 2.8 – Структурна схема МПБ управління камерою:

ОУ – органи управління; ДП1, ДП2 – датчики 1-го і 2-го положення заслонки, що закриває-відкриває посуд з селікагелем; СТ – схема тактування мікроконтролера; БИ – блок індикації; МК – мікроконтролер; БП – блок живлення; Т1, Т2 – датчики температури; БУШД – блок управління шаговим двигуном; УН – управління нагрівачем.

Монолітний вимірювач тиску з кремнію, що виготовляється таким чином, запатентований фірмою Motorola, отримав назву *X-ducer* із-за хрестообразного розташування чотирьох виводів. Одна пара виводів елементів тиску служить для подачі напруги живлення, а на другій парі датчик розвиває різницю потенціалів, яка лінійно залежить від напруги, що була прикладена, та механічного тиску.

Основною ознакою розподілу датчиків фірми Motorola на групи являється ступінь інтеграції. Розрізняють наступні групи датчиків:

- некомпенсовані датчики (Uncompensated);
- термокомпенсовані та калібровані датчики (Compensated);
- інтегровані датчики (Int B Г rated);
- медичні датчики (Medical).

Некомпенсовані датчики містять на кристалі лише один елемент *X-ducer*.

Більш складні термокомпенсовані та калібровані датчики містять *X-ducer*, термістори для корекції температурної похибки нуля та чутливості датчика, а також додаткові підгоночні резистори, опір яких в процесі виробництва корегується лазером для мінімізації розбалансування нуля та чутливості датчиків від зразка до зразка.

До схеми датчиків, які називаються інтегрованими або датчиками з стандартним вихідним сигналом, введено додатковий підсилювач, який приводить вихідну напругу датчика до стандартного вихідного діапазону інтегральних АЦП.

Медичні датчики по ступеню інтеграції відносяться до термокомпенсованих датчиків, але їх виділяють у окрему групу, оскільки їх тип корпусу, робочий та температурний діапазони відповідають спеціальним медичним вимогам.

Для отримання високої точності вимірювань, спрощення схемотехніки пристрою та зменшення його вартості звернуто увагу на датчики тиску серії

MPX5000 фірми Motorola – серія датчиків тиску з нормалізованим вихідним сигналом.

Основні особливості датчиків серії *MPX5000*:

- базовий елемент – тензодатчик (*X-duser*);
- вбудована схема нормалізації сигналу – вихідна напруга від 0,2В до 4,7В;
- вбудоване калібрування;
- термокомпенсація в діапазоні температур від 0 до 85 °С;
- ідеально підходить для мікропроцесорних систем;
- міцний епоксидний корпус;
- напруга живлення – 5В;
- мале енергоспоживання – 7мА (типове);
- зміщення вихідного сигналу – не більш 0,2В (типове);
- не великий час відклику – 1,0 мсек;
- висока точність;
- малі габарити та вага датчика разом з вихідними портами;
- широкий діапазон робочих температур та температур зберігання.

Для використання в витратомірах G_{dil} та G_{sam} обрано датчики тиску типа *MPXV5004GVP*, які дозволяють вимірювати тиск в діапазоні 0..3,92 кПа, забезпечують точність $\pm 1,5\%$, мають нормований вихідний сигнал, термокомпенсовані в діапазоні від 10 °С до 60 °С та упаковані в мініатюрний корпус. Для визначення перепаду тиску на фільтрах для відбору ТЧ обрано диференційний датчик *MPXV5050G*, який дозволяє вимірювати тиск в діапазоні $\pm 0..50$ кПа, забезпечує точність вимірювань $\pm 2,5\%$, є термокомпенсованим в діапазоні від -40 °С до +125 °С та облаштований нормованим виходом.

Сучасна промисловість пропонує багато різноманітних датчиків для вимірювання температури. Задача вибору потрібного датчика температури полягає у підборі найбільш оптимального представника по точності, діапазону температур, що вимірюються, способу зчитування інформації, відмовостійкості, вартості та простоті використання. Найкращому прояву

перерахованих якостей відповідають температурні датчики фірми Dallas Semiconductor. Вони дозволяють суттєво спростити виконання температурних вимірювань завдяки прямому трансформуванню температури у цифровий код на кристалі без використання додаткових АЦП. Переформування аналогового значення напруги, яке залежить від температури, у цифровий код відбувається безпосередньо на кристалі, що дозволяє запобігти похибок, пов'язаних з передачею аналогового сигналу до виходів АЦП, а також з самим АЦП. Вимірювачі температури фірми Dallas Semiconductor розробляються з різними характеристиками: з різною точністю вимірювань, різним часом відклику, різними інтерфейсами управління (3-х провідним, 2-х провідним, з підтримкою). Для вирішення поставленої задачі прийняте за доцільне використовувати датчик температури *DS18B20*, який забезпечує точність вимірювань $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, має час відклику 750мсек та однопровідний інтерфейс MicroLAN.

Принципова схема МПБ керування мікротунелем (рис. 3.33) розділена на логічні блоки А1-А8.

Блок А1 представляє собою модуль вимірювання температури, яке виконується за допомогою цифрових датчиків *XT2*. Знімання показів з датчиків та обробка результатів виконується мікро-контролером *DD1*. Результати вимірювань передаються центральному процесору *DD2* (блок А6) по трьохпровідному інтерфейсу. Блок А2 включає чотири датчика тиску *XT5*, *XT6*, *XT10*, *XT11*. Індикація показів, а також інформація для взаємодії користувача з МПБ виконується за допомогою блоку А3, який складається з рідиннокристалічного індикатора *H1* та регульовочного резистора контрасту *R3*.

Для роботи шарових кранів використовуються двигуни РД-9, управління якими здійснюється за допомогою блоку А4, який складається з чотирьох електромагнітних реле *K1-K4* та відповідних транзисторних ключів *VT1-VT4*.

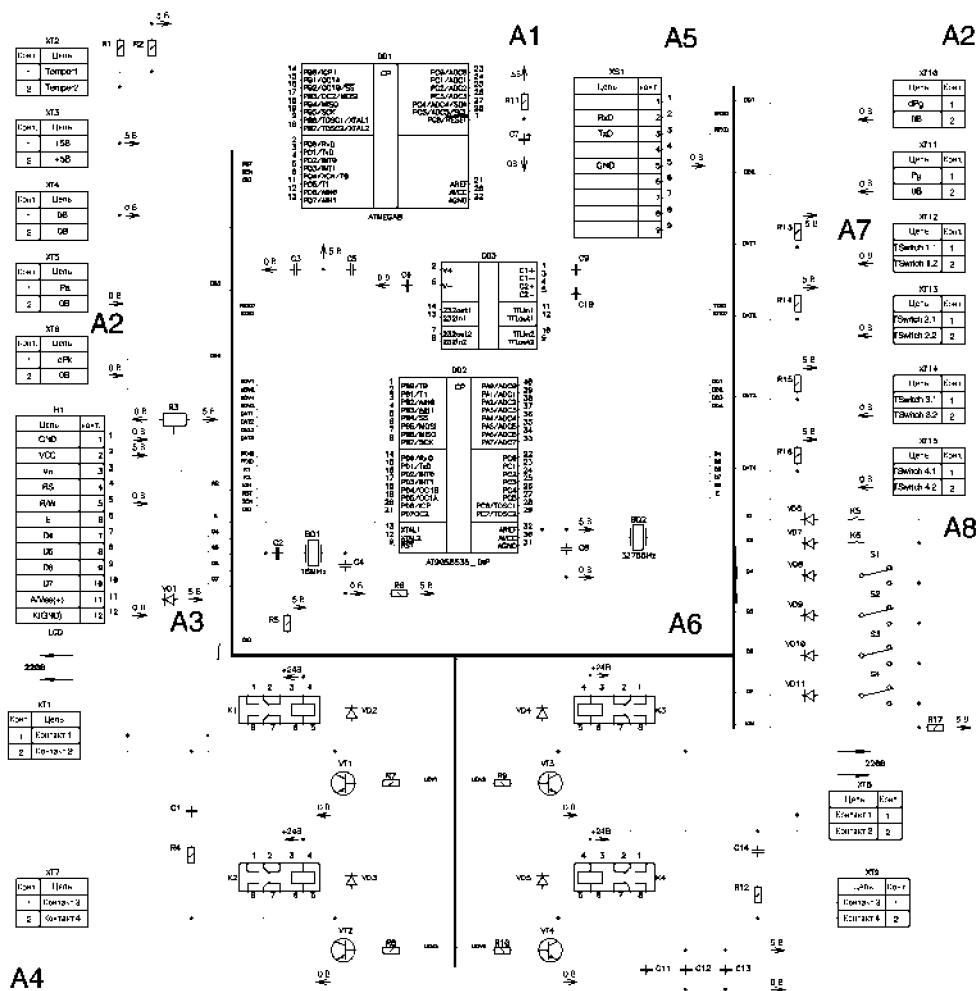


Рисунок 2.9 – Принципова схема МПБ керування мікротунелем

Контроль положення шарових кранів проводиться в блоці *A7*, що представляє собою датчики положення *X12-X15*. За допомогою блоку *A8* користувач може виконувати керування МПБ, використовуючи для цього кнопки *K5*, *K6* і перемикачі *S1-S4*. Зв'язок з ПК здійснюється через посередництво блоку *A5*, що містить у собі роз'єм підключення до ПК *XS1* та мікросхему переформування рівнів *DD3*.

Конструкція МПБ (рис. 2.10) розроблена з врахуванням масогабаритного показника. Вона відрізняється компактністю, простотою транспортування, врахуванням взаємного впливу електрон-них компонентів один на одного, що дозволило виключити можливі взаємні перешкоди.

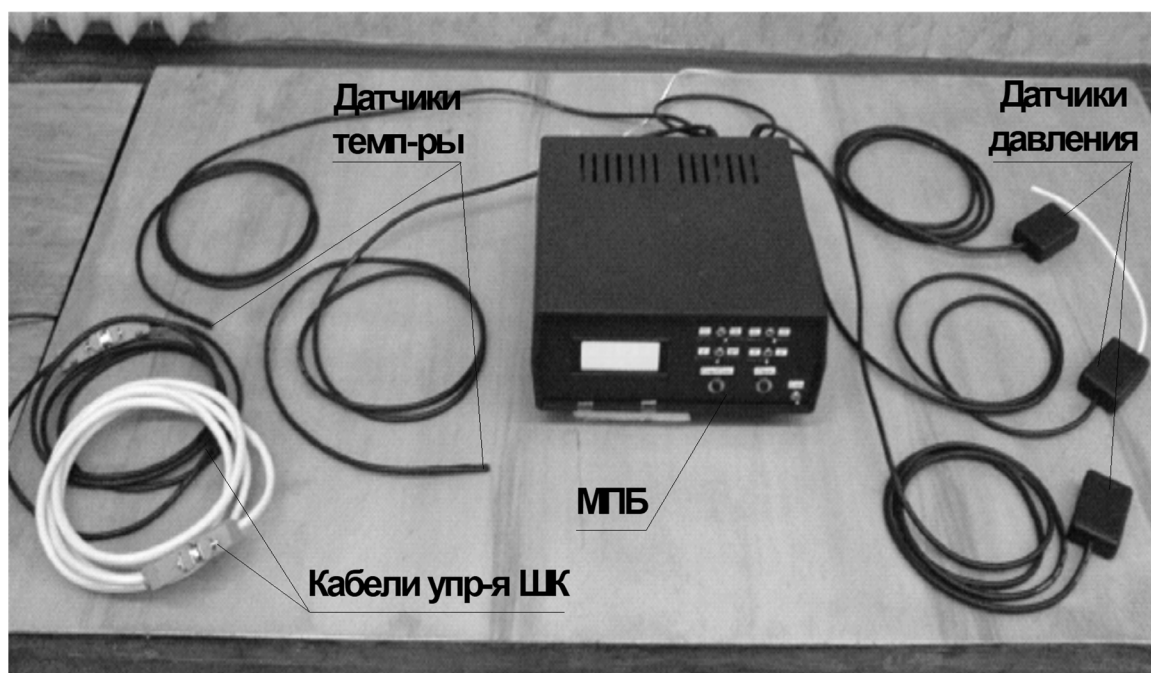


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд МПБ керування мікротунелем

МПБ керування камерою для стабілізації та зважування фільтрів. Пристрій керування камерою виконує регулювання температури і відносної вологості за допомогою датчиків температури $XP1$ та $XP2$, які розміщені в блоці $A1$ (рис. 2.11).

Обробка значень температури та керування виконавчими механізмами здійснюється мікроконтролером $DD1$ блока $A6$.

Для управління вологістю використовується блок $A2$, який складається з шагового двигуна $XP3$ та транзисторних ключів керування обмотками двигуна $VT6-VT9$. Положення заслонки, яка приводиться до руху шаговим двигуном, визначається за допомогою датчиків положення $XP5$ блока $A3$.

Регулювання температури виконує блок $A7$, який містить електромагнітне реле $K4$ та транзисторний ключ $VT1$. Для погашення ЕРС самоіндукції використовується діод $VD10$.

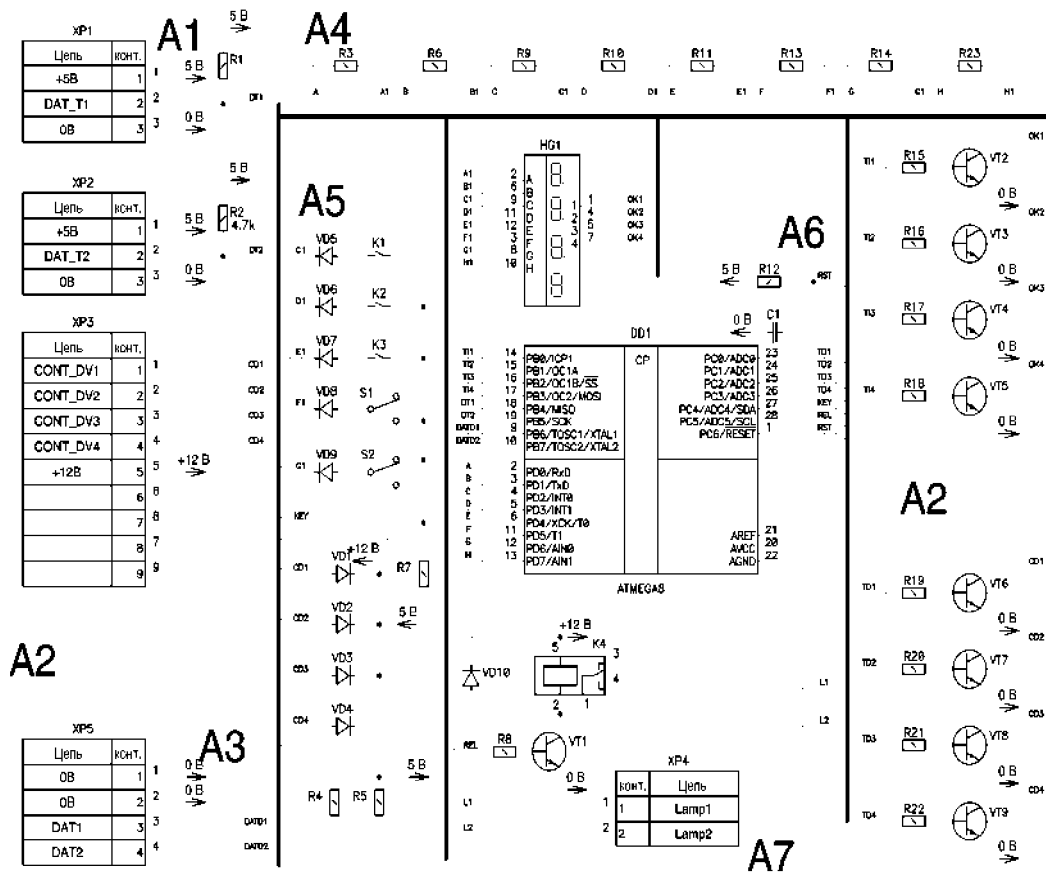


Рисунок 2.11 – Принципова схема МПБ камери для стабілізації та зважування фільтрів

Відображення необхідної інформації виконується блоком A4. Цей блок представляє собою динамічну індикацію: транзисторні ключі *VT2-VT5*, обмежуючі резистори, *R6, R9-R11, R13, R14, R23* та семисегментний індикатор *HG1*. Для керування пристроєм призначений блок A5, який включає до себе кнопки *K1-K3* та перемикачі *S1, S2*.

2.3 Програмне забезпечення мікротунелю

Програмне забезпечення мікротунелю розроблено у вигляді вікон Windows, сформованих за функціональною ознакою (рис. 2.12). Основних робочих вікон три – «Синхронізація», «Випробування» та «Результати».

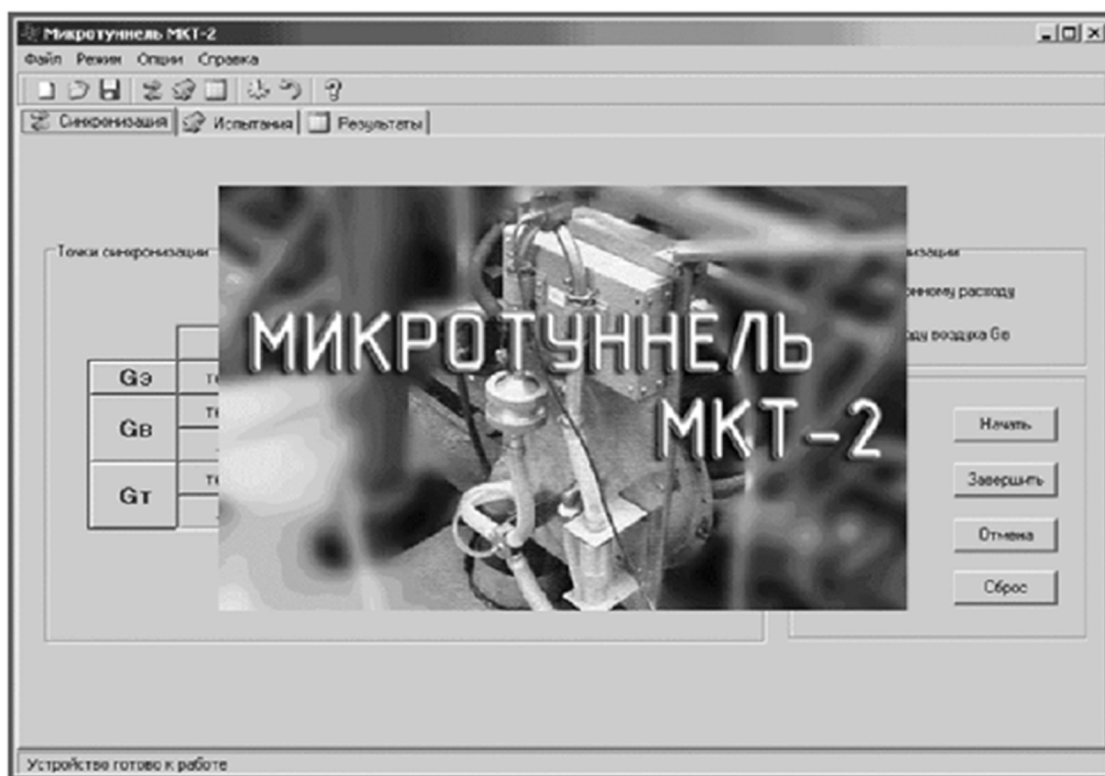


Рисунок.2.12 – Головной экран програми користувача МКТ-2

Перемикання між екранами здійснюється шляхом вибору від-повідних кнопок або закладок, розташованих в верхній частині екрану.

Екран «Синхронізація» (рис. 2.13) призначений для проведення процедури калібрування основних витратомірів мікротунелю, які визначають масові витрати G_t та G_{com} , потрібні для використання компенсаційного способу визначення проби ВГ. Калібрування може проводитись на п'яти рівнях масової витрати як з використанням еталонного витратоміру (з показаннями $G_э$), так і без нього (функцію еталонного пристрою здійснює витратомір G_t (на екрані G_T)).

Екран «Випробування» (рис. 2.14) використовується безпосередньо при проведенні випробувань. Він дозволяє здійснювати безперервний контроль основних параметрів навколишнього середовища, мікротунелю та режиму, що виконується. В цьому екрані розташовані кнопки початку-завершення процедури відбору проб ТЧ, а також переходу до додаткового екрану «Графіки» (рис. 2.15).

Цей екран містить наочні данні об основних параметрах мікро-тунелю, представлені в графічній формі.

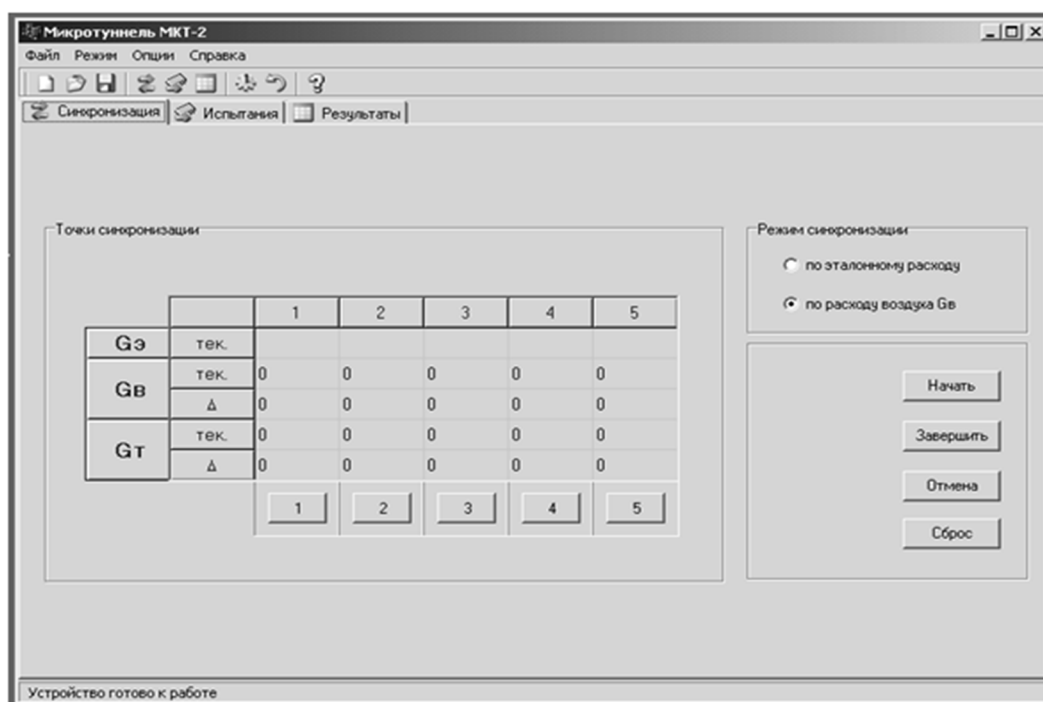


Рисунок. 2.13 – Экран «Синхронізація»

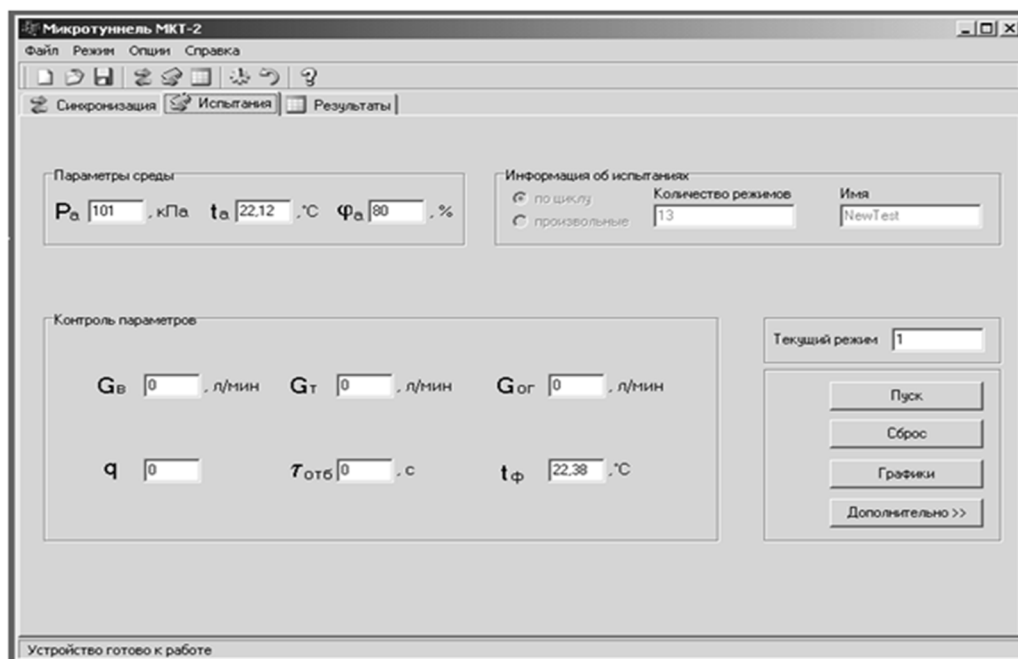


Рисунок. 2.14 – Экран «Випробування»

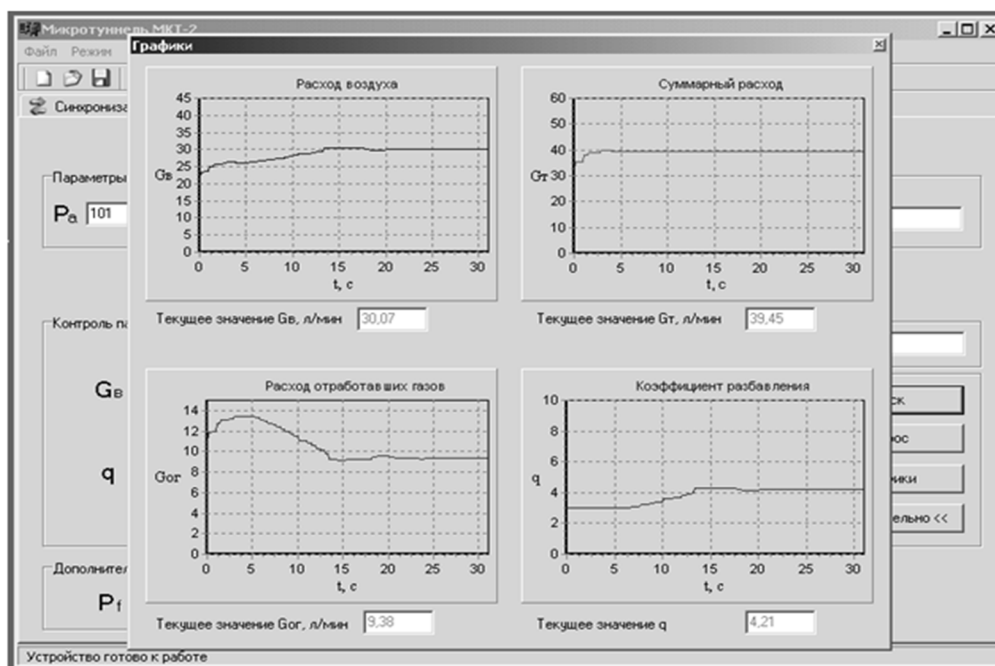


Рисунок. 2.15 – Додатковий екран «Графіки»

Повна інформація про проведені випробування заноситься до пам'яті ПК і відображається у екрані «Результати» (рис. 2.16). Після введення даних про усі параметри мікротунелю, двигуна, що випробовується, та масу ТЧ, зібрану на фільтрах, програма автоматично розраховує концентрацію ТЧ, масовий та питомий викиди ТЧ з ВГ дизеля.

Для зручності використання програмного забезпечення МКТ-2 розроблено відповідну інструкцію по роботі з ним, в якій детально описані всі можливості програми та порядок виконання різних функцій.

2.4 Експериментальне відпрацювання МКТ-2 на гальмівному стенді дизеля 4ЧН12/14.

Підготовка гальмівного стенду до випробувань. Випробування, в ході яких визначались масові викиди ТЧ, проводились на базі гальмівного стенду автотракторного дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), встановленого у машинному залі кафедри ДВЗ Національного технічного університету «ХП».

Згідно вимог нормативних документів [1–3] при відборі проб ТЧ пробовідбірник мікротунелю необхідно встановлювати у прямо-лінійній ділянці вихлопної труби таким чином, щоб він розташовувався на осевій лінії трубопроводу назустріч потоку ВГ.

	Параметры двигателя и цикла					Параметры туннеля				
	п, об/мин	Мк, Н*м	Рв, кВт	Богд, кг/час	WF	Гв, л/мин	Гт, л/мин	Бог, л/мин	q	
1	1000	250	26,18	353,83	1	28,61	39,21	10,59	3,78	31,37

Рисунок. 2.16 – Экран «Результаты»

При цьому прямолінійні ділянки трубопроводу перед пробо-відбірником та після нього повинні складати не менш ніж $6D$ та $3D$, відповідно (D – внутрішній діаметр вихлопної труби). З метою вико-нання даної вимоги було виготовлено та встановлено на стенді необ-хідну прямолінійну ділянку, з якої здійснювався відбір проб ТЧ до МКТ-2 (рис. 2.17).

Всі елементи вимірювального комплексу з МКТ- 2 (мікротунель, ЕМК з ПК та камера для стабілізації і зважування фільтрів) були змонтовані на стенді дизеля 4ЧН12/14. При цьому було забезпечено: зручні умови керування мікротунелем та контролю за показами при-ладів, можливість за короткий термін здійснювати монтаж-демонтаж та консервування даного обладнання (рис. 2.18).

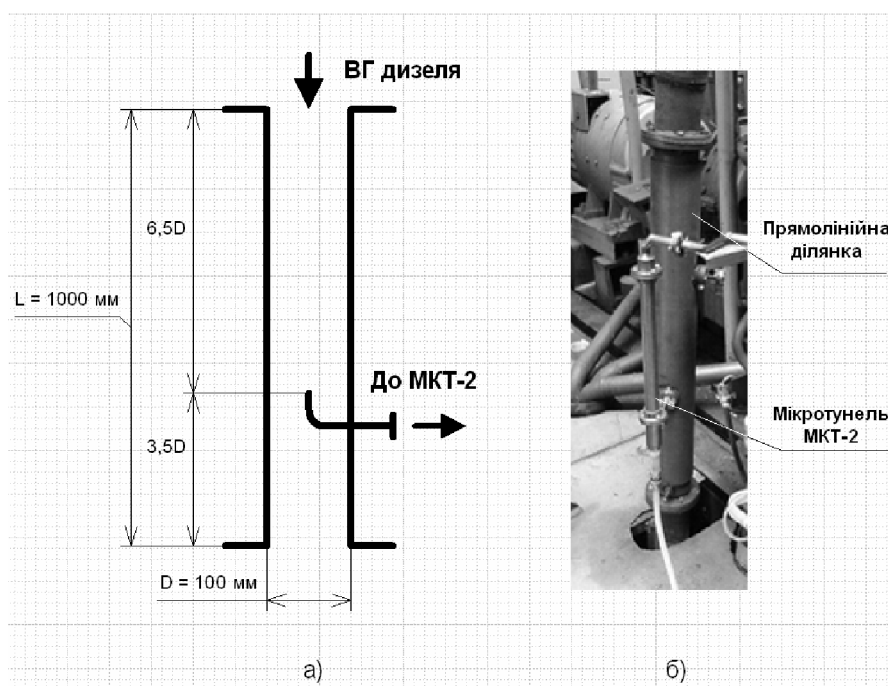


Рисунок. 2.17 – Монтаж МКТ-2 з випускною системою дизеля 4ЧН12/14:
а – схема встановлення пробовідбірника ВГ; б – загальний вигляд ВГ.

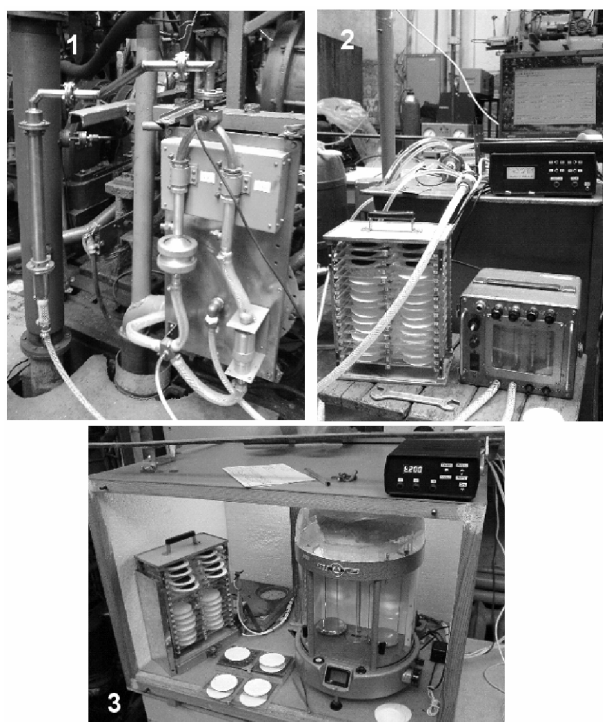


Рисунок. 2.18 – Монтаж вимірювального комплексу з МКТ-2: 1 – мікротунель;
2 – ЕМК з ПК; 3 – камера для стабілізації та зважування фільтрів.

Результати використання МКТ-2. За допомогою вимірювальної системи МКТ-2 проведені такі дослідження (рис. 2.19, 2.20):

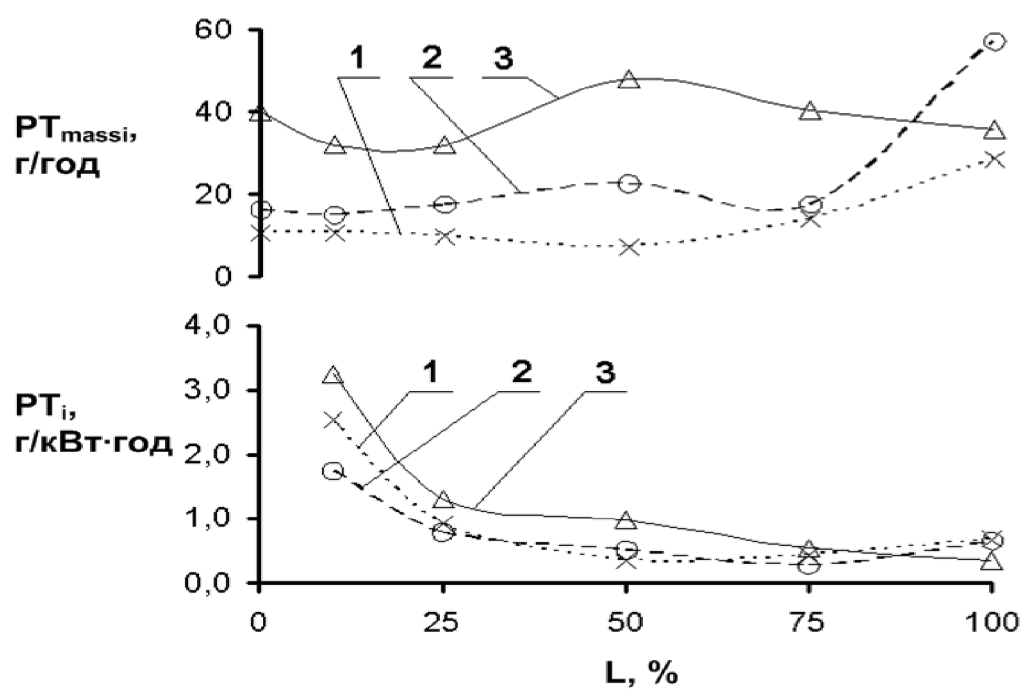


Рисунок. 2.19 – Результати вимірювань викидів ТЧ на окремих режимах роботи дизеля

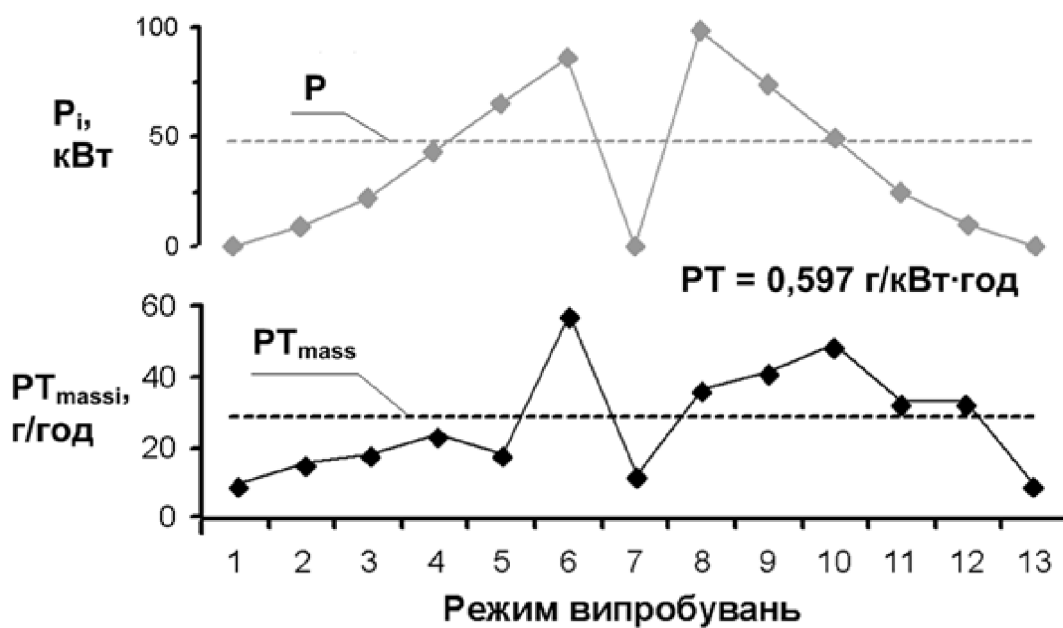


Рис. 2.20. Результати випробувань дизеля 4CH12/14 за циклом 13-Mode Cycle

а) визначення масових та питомих викидів ТЧ з ВГ – PT_{massi} (г/год) і PT_i (г/кВт·год) на різних режимах роботи дизеля;

б) відпрацювання процедури вимірювань середньоексплуатаційного викиду ТЧ в ході випробувань дизеля за циклами 13-Mode Cycle і ESC. Випробування підтвердили практичну придатність і ефективність МКТ-2 при проведенні екологічних випробувань ДВЗ.

2.5 Висновки до другого розділу

1. Досліджено макетний зразок автоматизованої частковопоточної систем: мікротунеля МКТ-2. Ця система дозволяє визначати викиди ТЧ на окремих режимах роботи дизеля та середньоексплуатаційні значення з похибками: МКТ-2 – $\pm 3 \dots 10\%$ та $\pm 3,5\%$, відповідно. Випробування на мотонних стендах підтвердили практичну придатність і ефективність МКТ-2 при проведенні екологічних випробувань ДВЗ.

РОЗДІЛ 3

СТВОРЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТЧ У ВГ НА СТАЛИХ І НЕСТАЛИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛІВ

На основі описаної вище експериментальної установки були проведені дослідження з метою встановлення та аналізу математичних моделей, що описують вплив параметрів, що визначають стабільні режими роботи дизеля, на об'ємні концентрації – C_{pt} (г/м³), масові викиди – PT_{mass} (г/год) та питомі викиди – PT_p (г/кВт·год) РМ. Для цього були вирішені наступні завдання:

- вибір регулювання усталених режимів для досліджень, що характеризуються двома параметрами: кількістю оборотів колінчастого вала двигуна – n (хв⁻¹) і навантаженням – L (% від максимального крутного моменту при струмі n);
- вимірювання значень C_{pt} , PT_{mass} і PT_p при знаходженні дизельного двигуна в контрольних тестових режимах з використанням МКТ-2,
- встановлення регресійних залежностей, що відображають вплив параметрів n і L на значення C_{pt} , PT_{mass} і PT_p ;
- аналіз результатів і розробка рекомендацій щодо їх використання.

3.1 Парметри досліджуваних сталих режимів випробувань

Для досліджень обрано 2-х факторний план експерименту 3×4, в якому максимально відображені експлуатаційні діапазони варіювання параметрів n і L при рівно-мірному характері їх зміни. Цей план включає 12 сталих режимів роботи дизеля 4ЧН12/14 з 3-ма рівнями варіювання параметра n – 1000, 1500 і 2000 хв⁻¹ та 4-ма рівнями варіювання параметра L – 25, 50, 75 і 100%.

На кожному контрольному режимі були визначені величини PT_{mass} , PT та C_{pt} (табл. 5.2). Похибки вимірювань цих величин склали від 4 ... 7% – при значному вмісті ТЧ у ВГ (на режимах з навантаженням 50–100%) до 14 ... 17%

– при малому вмісті ТЧ у ВГ (на режимах з навантаженням 0–25%). Середні значення похибок вимірювань PT_{mass} , PT та C_{pt} склали 8 ... 10% або $\pm 1,78$ г/год, $\pm 0,04$ г/кВт·год та $\pm 0,005$ г/мн³, відповідно.

3.2 Встановлення залежностей величин PT_{mass} , PT та C_{pt} від параметрів режиму роботи дизеля.

Експериментальні дані про викиди і концентрації ТЧ на контрольних режимах випробувань використовувалися для визначення регресійних залежностей:

$$Y = f(n, L),$$

де Y – узагальнене позначення величини, що контролюється – PT_{mass} , PT та C_{pt} ;
 $f(n, L)$ – рівняння регресії, функція 2-х змінних – n та L .

Оскільки вид рівняння регресії, що корелюється з експериментальними даними, не був відомий заздалегідь, то розглядалися 3 залежності, з яких було обрано найбільш достовірну:

– залежність 1:

$$Y = K_1 \cdot f_n(Y) \cdot f_L(Y), \quad (3.1)$$

де K_1 – постійний коефіцієнт;

$f_n(Y)$ та $f_L(Y)$ – функції однієї змінної, що характеризують вплив кожного з параметрів – n та L на величину Y ;

– залежність 2:

$$Y = K_2 + f_n(Y) + f_L(Y), \quad (3.2)$$

де K_2 – постійний коефіцієнт;

– залежність 3:

$$Y = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot L + A_{11} \cdot n^2 + A_{22} \cdot L^2 + A_{12} \cdot n \cdot L, \quad (3.3)$$

де $A_0, A_1, A_2, A_{11}, A_{22}, A_{12}$ – постійні коефіцієнти.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань величин PT_{mass} , PT та C_{pt} на контрольних режимах випробувань дизеля 4ЧН12/14

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

Вибір наведених залежностей обумовлений широким спектром їх використання, простотою визначення та зручністю при аналізі і розрахункових дослідженнях. В роботі показано, що залежність 1 може успішно використовуватися при дослідженнях паливно-економічних показників ДВЗ та визначатися шляхом проведення багатфакторного експерименту.

В якості критеріїв точності кожної залежності розглядалися середньоквадратичні відхилення (СКВ) розрахункових даних від відповідних

експериментальних значень, виражені в абсолютних одиницях (з розмірністю величини Y) – S_Y та у відносних одиницях (%-х) – s_Y :

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Y_{pi} - Y_i)^2}{m(m-1)}}, \quad (3.4)$$

де Y_{pi} – значення величини Y , яке визначалися за рівнянням регресії на i -му режимі;

Y_i – експериментальне значення величини Y на i -му режимі;

$m = 12$ – кількість контрольних режимів випробувань;

$$s_Y = \frac{S_Y}{Y_{cp}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де Y_{cp} – середні значення досліджуваної величини Y , які визначалися як середньоарифметичні з 12-ти результатів вимірювань Y_i та дорівнюють для PT_{mass} , PT та C_{pt} 17,85 г/год, 0,411 г/кВт·год та 0,052 г/мн³, відповідно.

Коефіцієнти K_1 , K_2 і функції $f_n(Y)$, $f_L(Y)$, що входять у вираження (3.1) та (3.2), були визначені за методикою, викладеною у роботі, а для обчислення коефіцієнтів A_i залежності (3.3) використана методика, що представлена у роботі [78] (табл. 3.2, рис. 3.1,3.2).

Для кожної залежності за допомогою виражень (3.4) і (3.5) встановлені значення СКВ – S_Y та s_Y (табл. 3.3).

Як видно з табл. 3.3, залежності (3.1) і (3.2) не мають достатньої точності, оскільки значення s_Y для них складають 29,3 ... 38,6% (за винятком значення $s_{PT_{mass}} = 14,1\%$ для залежності).

Для поліноміальної функції (3.3) значення $s_{PT_{mass}}$ і $s_{C_{pt}}$ співставні з середньою похибкою експерименту, а значення s_{PT} перевищує її в 1,9 рази. Таким чином, з 3-х розглянутих залежностей найбільш достовірною є поліном 2-го порядку (3.3), який дозволяє достатньо точно оцінювати вплив параметрів n

та L на величини PT_{mass} і C_{pt} та може використовуватися для наближеної оцінки значень величини PT .

Таблиця 3.2 – Результати обчислень коефіцієнтів залежностей (3.1)-(3.3)

Величина	Залежність	Значення коефіцієнтів							
		K_1	K_2	A_0	A_1	A_2	A_{11}	A_{22}	A_{12}
PT_{mass}	1	0,072	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-17,9	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	2,032	-5,4E-3	-1,1E-1	9,3E-6	4,2E-3	-1,1E-4
PT	1	2,752	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0,41	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0,947	-1,1E-3	3,2E-3	6,6E-7	1,1E-4	-1,2E-5
C_{pt}	1	23,05	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0,05	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0,0215	-8,8E-5	1,5E-3	4,5E-8	1,0E-5	1,4E-6

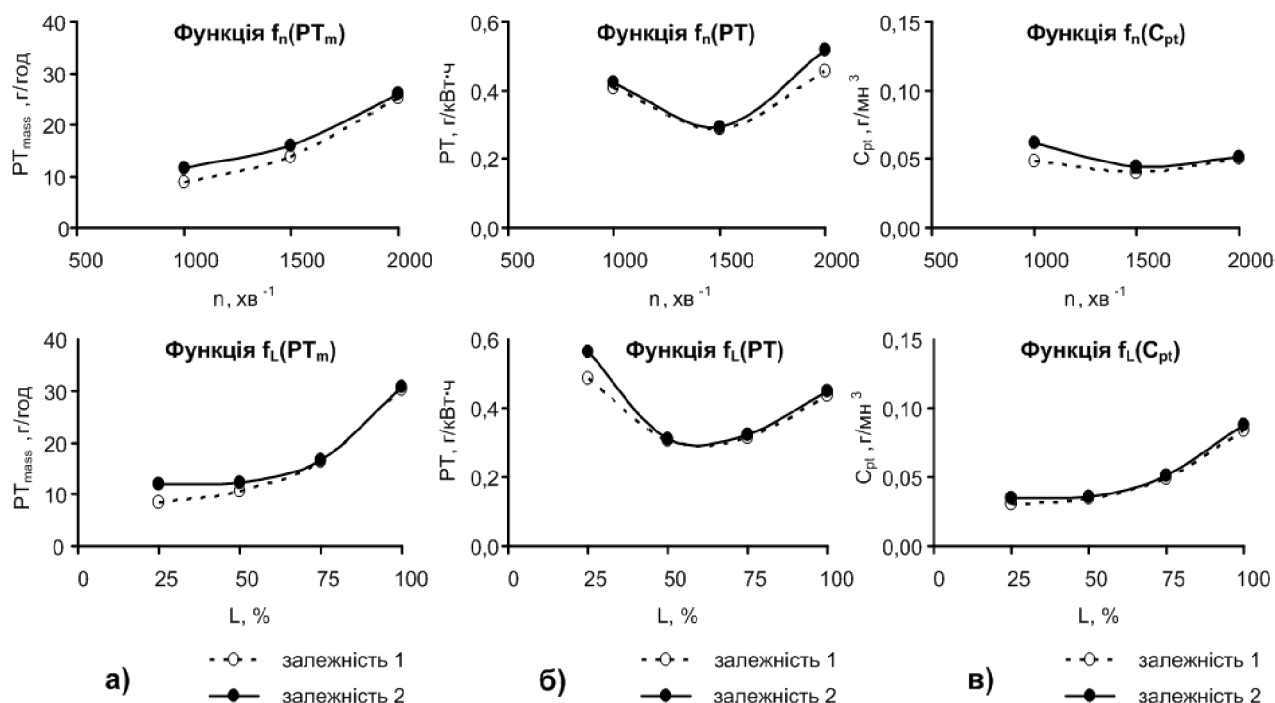


Рисунок 3.1 – Усереднені залежності $f_n(Y)$ і $f_L(Y)$, які характеризують вплив n та L на:

а – масовий викид – PT_{mass} ; б – питомий викид – PT ; в – концентрацію – C_{pt} .

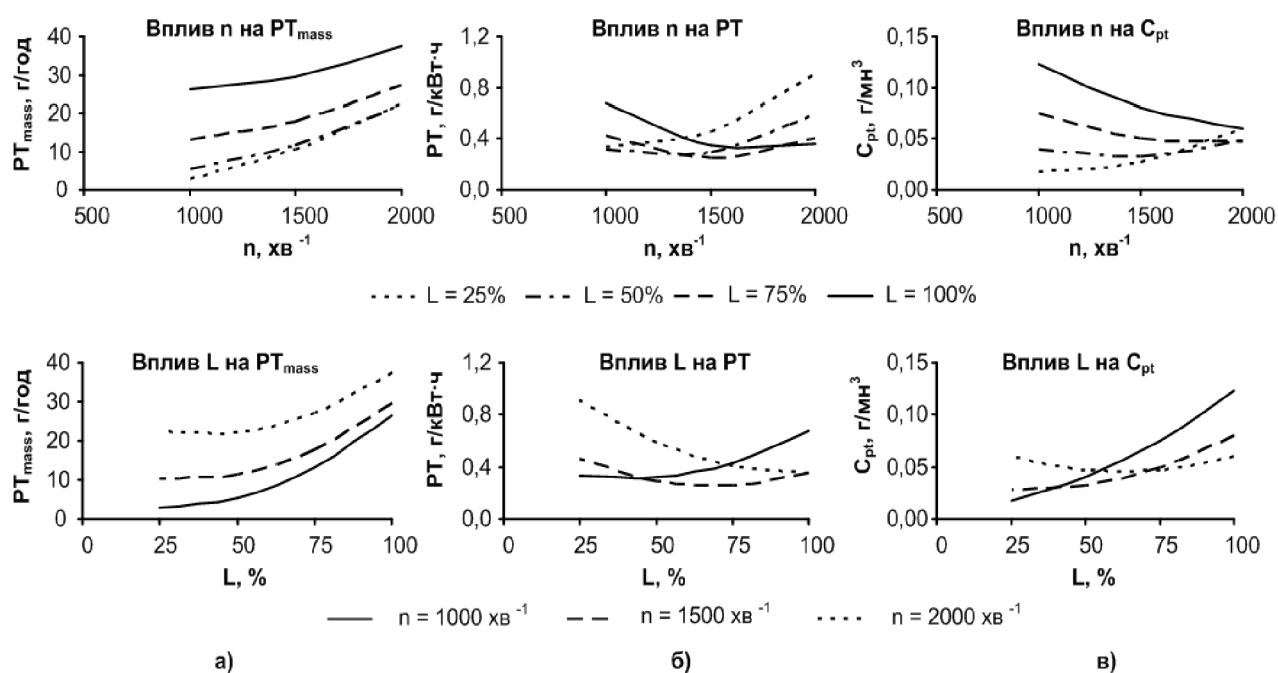


Рисунок 3.2. Рівняння регресії у вигляді поліномів 2-го порядку для оцінки:
 а – масового викиду – PT_{mass} ; б – питомого викиду – PT ; в – концентрації – C_{pt} .

Таблиця 3.3 – Абсолютні та відносні значення СКВ залежностей (5.1) – (5.3)

Залежність	S_Y			$s_Y, \%$		
	$S_{C_{pt}},$ г/мн ³	$S_{PT},$ г/кВт·год	$S_{PT_{mass}},$ г/год	$s_{C_{pt}}$	s_{PT}	$s_{PT_{mass}}$
1	0,0181	0,121	5,27	34,7	29,3	29,5
2	0,0176	0,159	2,52	33,7	38,6	14,1
3	0,0042	0,077	2,02	8,1	18,8	11,3

3.3 Аналіз впливу величин n та L на викиди і концентрації ТЧ у ВГ дизеля.

а) вплив режиму роботи дизеля на масовий викид ТЧ:

– величина PT_{mass} із збільшенням n з 1000 до 2000 xv^{-1} при фіксованому значенні крутного моменту зростає за близькою до лінійної залежністю з кутовим коефіцієнтом 0,015 (г/год)/ xv^{-1} ;

– збільшення L з 25 до 60 % мало позначається на зростанні PT_{mass} , але зростання навантаження в діапазоні 60...100% призводить до суттєвого збільшення викиду ТЧ – у 1,7...3,5 рази;

– мінімальне значення PT_{mass} – 3,0 г/год спостерігається на режимі з $n = 1000$ хв⁻¹, $L = 25\%$, максимальне значення – 37,4 г/год – на режимі з $n = 2000$ хв⁻¹, $L = 100\%$;

б) вплив режиму роботи дизеля на питомий викид ТЧ:

– величина PT при зростанні n з 1000 до 2000 хв⁻¹ змінюється у залежності від величини навантаження: при $L = 25\%$ – зростає від 0,34 до 0,91 г/кВт·год, при $L = 100\%$ – знижується від 0,67 до 0,36 г/кВт·год; при цьому із зростанням L від 25 до 100% зростаюча залежність PT від n поступово переходить в убуючу залежність;

– мінімальне значення PT – 0,25 г/кВт·год спостерігається при $n = 1500$ хв⁻¹, $L = 75\%$, максимальне значення – 0,91 г/кВт·год – при $n = 2000$ хв⁻¹, $L = 25\%$;

в) вплив режиму роботи дизеля на концентрацію ТЧ:

– величина C_{pt} при збільшенні n з 1000 до 2000 хв⁻¹ змінюється в залежності від значення навантаження: при $L = 25\%$ – зростає від 0,02 г/мн³ (мінімальне значення) до 0,06 г/мн³, при $L = 100\%$ – убуює від 0,12 г/мн³ (максимальне значення) до 0,06 г/мн³; при цьому із зростанням L від 25 до 100% зростаюча залежність C_{pt} від n поступово переходить в убуючу залежність.

Результати зробленого аналізу дозволяють підвищити точність вимірювань викидів ТЧ шляхом коригування тривалості відбору проб ТЧ з урахуванням їхнього вмісту у ВГ дизеля: при незначному вмісті ТЧ ця тривалість повинна збільшуватися, при суттєвому вмісті ТЧ – скорочуватися.

3.4 Рекомендації щодо використання результатів досліджень.

Встановлення залежностей для відображення впливу режиму роботи дизеля на значення C_{pt} , PT_{mass} і PT_{tr} може бути використано як для непрямої

оцінки їх значень, так і для визначення мінімальної тривалості відбору проб ТЧ в тунелях розведення – τ_{\min} , при якій забезпечується точність цих вимірювальних систем. Так, при вимірюванні масової концентрації ТЧ в режимі стійкого випробування величину можна визначити за формулою.

$$\tau_{\min} = \frac{m_{f(\min)}}{(c_{pt(a)} - \Delta c_{pt(a)}) \cdot G_{sam(max)}} \cdot q_{\min}, s$$

де $m_{f(\min)} = 0,25$ мг – мінімально допустима маса частинок ТЧ на фільтрі;
 $c_{pt(a)}$ – розрахункове значення масової концентрації ТЧ в ЕГ, визначене з використанням встановленої регресійної залежності, г/кг;

$\Delta c_{pt(a)}$ – похибка непрямого визначення $c_{pt(a)}$, яка визначається правилом 2-сигми як $2 \cdot SC_{pt}$;

$G_{sam(max)} = 2,5$ г/с – максимально допустима масова витрата зразків, розведених ЕГ в тунелі;

$q_{\min} = 4$ – мінімально допустиме значення коефіцієнта розведення ЕГ.

Формула (12) виходить на основі залежності (1). Аналогічним чином на основі залежностей (2) – (4) можуть бути встановлені формули для визначення тривалості τ_{\min} при вимірюванні значень C_{pt} , PT_{mass} і PT_p .

3.5 Розрахунковий метод оцінки вмісту ТЧ у ВГ на несталих режимах

З причини високої вартості та трудомісткості обслуговування обладнання для визначення масових викидів ТЧ з ВГ дизелів були розроблені непрямі розрахункові методи контролю вмісту ТЧ у ВГ: за показником димності (оптичної непрозорості) ВГ [7], показниками димності та концентрації газоподібних вуглеводнів [8], показниками димності, вмісту сірки у паливі та концентраціями важких вуглеводнів [9] та ін. Ці методи ефективно використовуються при оцінюванні викидів ТЧ дизелями, як на окремих сталих

режимах, так і середньоексплуатаційних викидів ТЧ, які визначаються за результатами виконання випробувальних циклів, що складаються зі сталих режимів, зокрема, циклів ESC [1], 8-ступінчастого циклу R-96 [2] та ін. З початком використання при проведенні сертифікаційних вип.-робувань дизелів транз'єнтних циклів – ETC (European Transient Cycle) [1], WTVC (Worldwide Transient Vehicle Cycle) [10], WHTC (Worldwide heavy-duty transient cycle) [11] та ін., які передбачають роботу дизелів на несталих (перехідних) режимах, виникла необхідність у корегуванні розрахункових методів контролю викидів ТЧ. Сутність цього корегування полягає у врахуванні при непряму визначенні вмісту ТЧ у ВГ на несталому режимі випробувань поправки ΔC_{pt} – відхилень концентрацій ТЧ, визначених на несталому та відповідному сталому режимах роботи дизеля:

$$C_{pt}^d = C_{pt}^{st} + \Delta C_{pt}, \text{ г/кг}, \quad (3.6)$$

де C_{pt}^d, C_{pt}^{st} – концентрації ТЧ, що визначаються на несталому та сталому режимах, відповідно, при однакових значеннях числа обертів колінчастого валу двигуна – n (хв⁻¹) та навантаження – L (%).

В ході випробувань дизеля 4ЧН12/14 було встановлено регресійну залежність для визначення величини ΔC_{pt} при варіюванні параметрів n і L в діапазонах: 1250...2000 хв⁻¹ ($\bar{n} = 0,4...0,8$) і 30...100 % ($\bar{L} = 0,3...1,0$) та тривалості несталих режимів $\Delta t = 10...30$ с. На основі результатів попередніх досліджень [80] обрано тип цієї залежності – поліном 1-го порядку:

$$\Delta C_{pt} = K_n \left(\frac{\Delta \bar{n}}{\Delta t} \right) + K_L \left(\frac{\Delta \bar{L}}{\Delta t} \right), \quad (3.7)$$

де K_n та K_L – коефіцієнти, які визначались в ході експерименту;

$\Delta \bar{n}, \Delta \bar{L}$ – відносні прирости величин \bar{n} і \bar{L} в ході несталого режиму.

Процедура визначення коефіцієнтів K_n і K_L представляла 3 цикли випробувань, які виконувались послідовно один за одним (рис. 3.3):

A – цикл з 5-ти сталих режимів роботи дизеля;

B – цикл з 10-ти несталих режимів роботи дизеля з тривалістю $\Delta t = 20$ с кожний (цикл складався з 4-х пар основних режимів з однаковими значеннями в кожній парі однієї з величин $\Delta \bar{n}$ або $\Delta \bar{L}$ при нульовому значенні другої величини та 2-х контрольних режимів з різними значеннями величин $\Delta \bar{n}$ і $\Delta \bar{L}$);

C – цикл з 3-х повторів перехідного режиму з $\Delta \bar{n} = 0$, $\Delta \bar{L} = 0,35$ з різною тривалістю Δt : 10, 20 та 30 с.

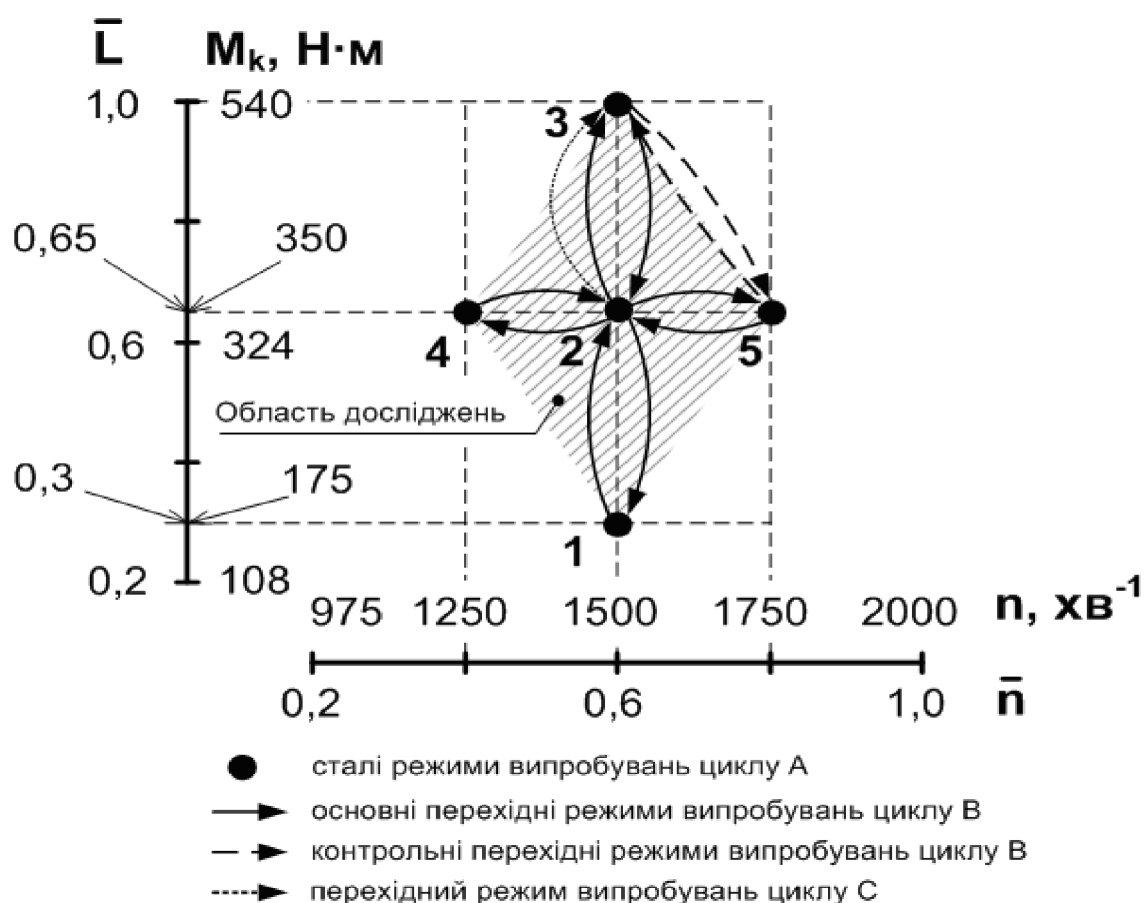


Рисунок. 3.3 – Сталі та перехідні режими випробувань, які використовувались для визначення коефіцієнтів K_n і K_L

В результаті виконання циклу A вимірювались значення концентрацій ТЧ – C_{pt}^{st} , які відповідали початковим і кінцевим значенням параметрів \bar{n} та \bar{L} несталих режимів випробувань циклів B і C у діапазонах варіювання: $\bar{n} = 0,4 \dots 0,8$ і $\bar{L} = 0,3 \dots 1,0$.

В результаті виконання циклу B на основних режимах випробувань визначались коефіцієнти:

– K_L при зростанні L на 35% ($\Delta\bar{L} = 0,35$) при різних початкових значеннях величини n (режими 1→2 та 2→3);

– K_L при зменшенні L на 35% ($\Delta\bar{L} = -0,35$) при різних початкових значеннях величини n (режими 3→2 та 2→1);

– K_n при зростанні n на 250 хв⁻¹ ($\Delta\bar{n} = 0,2$) при різних початкових значеннях величини L (режими 4→2 та 2→5);

– K_n при зменшенні n на 250 хв⁻¹ ($\Delta\bar{n} = -0,2$) при різних початкових значеннях величини L (режими 5→2 та 2→4);

а також (на контрольних режимах випробувань) оцінювалась точність визначення величини ΔC_{pt} за допомогою залежності при одночасних змінах параметрів $\Delta\bar{n}$ і $\Delta\bar{L}$.

В ході обробки результатів випробувань для кожної з вказаних пар основних режимів роботи дизеля розраховувались: середнє значення відповідного коефіцієнту, а також його абсолютне та відносне відхилення.

Для визначення величин K_n або K_L на кожному перехідному режимі випробувань використовувались формули:

$$K_n = \frac{\Delta C_{pt0}}{(\Delta\bar{n} / \Delta t)},_{(г \cdot с)/кг}, \quad (3.8)$$

$$K_L = \frac{\Delta C_{pt0}}{(\Delta\bar{L} / \Delta t)},_{(г \cdot с)/(кг)}, \quad (3.9)$$

де ΔC_{pt0} – відхилення концентрацій ТЧ, визначених на перехідному та сталому режимах роботи дизеля.

В результаті виконання циклу C визначались середнє значення коефіцієнту K_L та його середнє квадратичне відхилення (S_{KL}) при зростанні L на 35% при $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ (режим $2 \rightarrow 3$: $\Delta \bar{n} = 0$, $\Delta \bar{L} = 0,35$) у діапазоні варіювання тривалості перехідного режиму $\Delta t = 10 \dots 30 \text{ с}$:

$$K_L = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 K_{Li}, \quad (3.10)$$

де i – індекс режиму випробувань;

$n = 3$ – кількість режимів у випробувальному циклі;

$$S_{KL} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (K_L - K_{Li})^2}{n \cdot (n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (K_L - K_{Li})^2}{6}}. \quad (3.11)$$

У відповідності до встановленої процедури випробувань в ході виконання циклів A , B і C за допомогою МКТ-2 були визначені концентрації ТЧ у ВГ на сталих – C_{pt0}^{st} та несталих – C_{pt0}^d режимах роботи дизеля (рис. 3.4–3.6, табл. 3.4, 3.5). При цьому значення C_{pt0}^{st} на несталих режимах випробувань визначалось як середнє арифметичне з початкової та кінцевої концентрацій ТЧ у ВГ, визначених на відповідних сталих режимах.

Аналіз результатів виконання циклу B показує:

– при зростанні однієї з величин $\Delta \bar{n}$ або $\Delta \bar{L}$ при постійному значенні другої величини середні значення коефіцієнтів K_n та K_L складають 0,96 та 1,79, відповідно; при цьому абсолютні та відносні відхилення величин K_n та K_L від середніх значень складають: $\pm 0,08 \text{ (г}\cdot\text{с)/кг}$, або 8,3% та $\pm 0,06 \text{ (г}\cdot\text{с)/кг}$, або 3,4%, відповідно; таким чином навантаження L має у 1,9 рази більш суттєвий вплив на величину ΔC_{pt} ніж число обертів колінчастого валу двигуна n ;

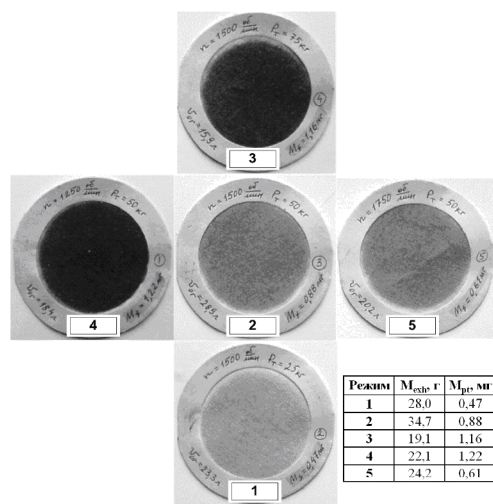


Рисунок 3.4 – Фільтри з ТЧ, зібрані на сталих режимах випробувань циклу А

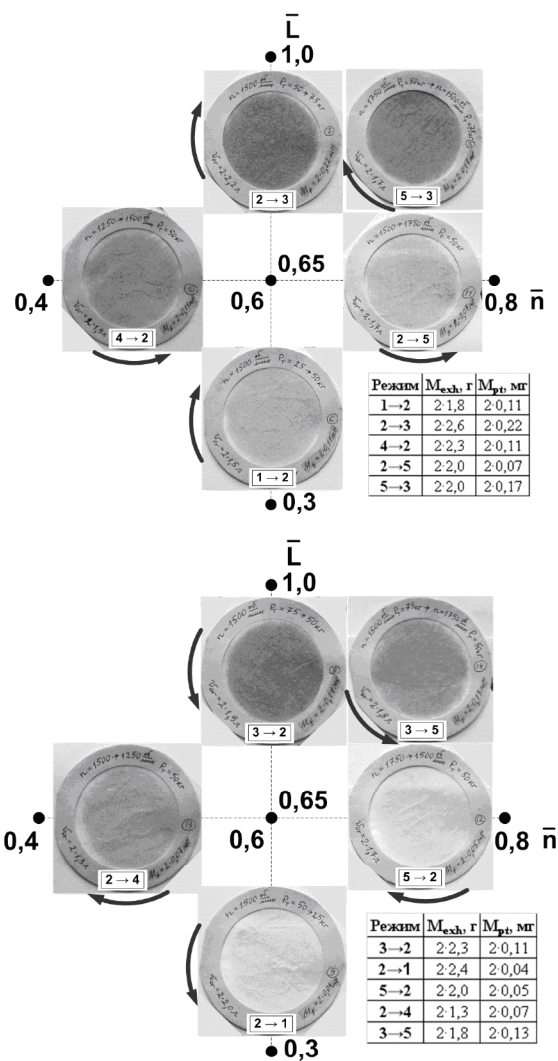


Рисунок. 3.5 – Фільтри з ТЧ, зібрані на несталих режимах циклу В

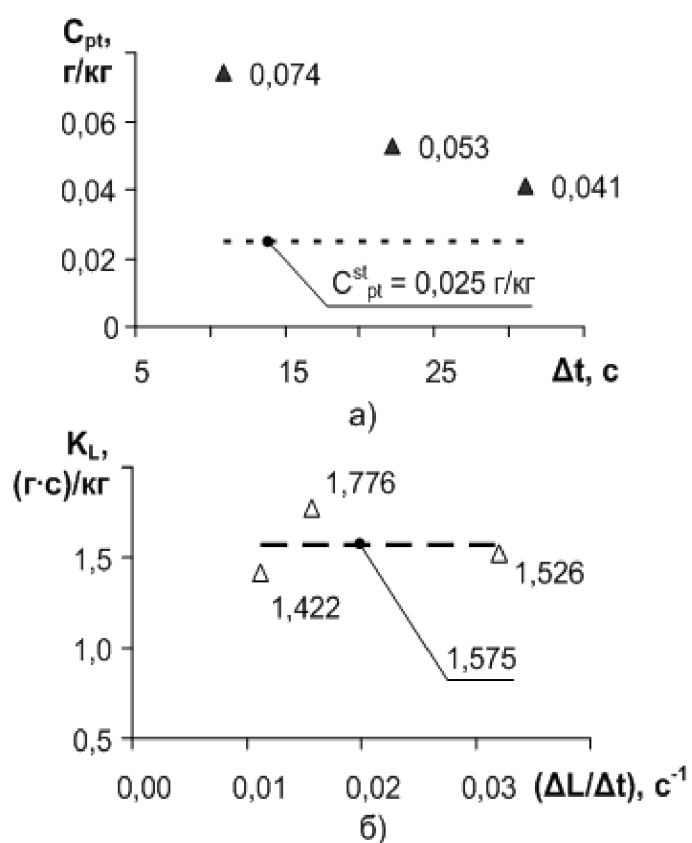


Рисунок 3.6 – Результати досліджень впливу тривалості перехідного режиму Δt на величини ΔC_{pt} (а) та K_L (б) в ході виконання циклу C

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань концентрацій ТЧ на режимах циклу A

Режим	Параметри режиму			Результати вимірювань та розрахунків					
	$n, \text{хв}^{-1}$ (\bar{n})	$M_k, \text{Н} \cdot \text{м}$ (\bar{L})	$P_e, \text{кВт}$	$G_{exh}, \text{кг/год}$	q	$\tau_{sam}, \text{с}$	$G_{sam}, \text{г/с}$ ($M_{sam}, \text{г}$)	$M_{pt}, \text{мг}$	$C_{pt0}^{st}, \text{г/кг}$
1	1500 (0,6)	175,7 (0,3)	27,6	403,6	7,13	271,1	0,73 (199,2)	0,47	0,020
2	1500 (0,6)	351,4 (0,65)	55,2	423,3	6,35	301,1	0,74 (220,5)	0,88	0,030
3	1500 (0,6)	527,2 (1,0)	82,8	473,5	6,90	180,9	0,73 (131,9)	1,16	0,073
4	1250 (0,4)	351,4 (0,65)	46,0	332,8	7,01	211,8	0,73 (155,1)	1,22	0,066
5	1750 (0,8)	351,4 (0,65)	64,4	523,8	6,38	211,3	0,73 (154,5)	0,61	0,030

Таблиця 3.5 – Результати експериментальних досліджень коефіцієнтів K_n та K_L

Режим	Параметри перехідних режимів випробувань				Результати вимірювань та розрахунків					
	$\bar{\Delta n}$	$\bar{\Delta L}$	$\Delta t = \tau_{sam}, c$	$P_e, кВт$	$G_{exh}, кг/год$	q	$C_{pt0}^d, (C_{pt0}^{st})$ г/кг	$\Delta C_{pt0}, г/кг$	$K_n^{**}, \frac{г \cdot c}{кг}$	$K_L^{**}, \frac{г \cdot c}{кг}$
1→2	0	0,35	21,09	41,4	413,5	8,43	0,055 (0,025)	0,030	-	1,79
2→3			22,21	69,0	448,4	6,20	0,080 (0,052)	0,028		
3→2	0	-0,35	21,07	69,0	448,4	6,65	0,057 (0,052)	0,005	-	0,00
2→1			21,27	41,4	413,5	6,43	0,020 (0,025)	-0,005		
4→2	0,2	0	21,30	50,6	378,1	6,82	0,058 (0,048)	0,010	0,96	-
2→5			21,33	59,8	473,6	7,81	0,038 (0,030)	0,008		
5→2	-0,2	0	20,83	59,8	473,6	7,47	0,029 (0,030)	-0,001	0,26	-
2→4			21,11	50,6	378,1	9,83	0,054 (0,048)	0,006		
3→5	0,2	-0,35	20,69	73,6	498,7	7,10	0,064 (0,052)	0,012 0,009*	0,96	0,00
5→3	-0,2	0,35	20,11	73,6	498,7	7,48	0,079 (0,052)	0,027 0,031*	0,00	1,79

Примітка.* – значення величини ΔC_{pt0} , розраховані за допомогою залежності (3.7); ** – середньоарифметичні значення результатів 2-х вимірювань відповідного коефіцієнту.

– при зменшенні однієї з величин $\bar{\Delta n}$ або $\bar{\Delta L}$ при постійному значенні другої величини значення коефіцієнтів K_n та K_L є не суттєвими та можуть не враховуватись, оскільки відхилення кон-центрацій ТЧ, визначених на

перехідних та сталих режимах випро-бувань складають $\Delta C_{pt0} = -0,005 \dots 0,006$ г/кг, що є співставним з межею чутливості МКТ-2 – $\pm 0,005$ [61];

– абсолютні відхилення розрахункових значень величини ΔC_{pt} , визначених за допомогою залежності (3.7), від експериментальних даних, отриманих в ході виконання 2-х контрольних перехідних режимів, складають - 0,003 г/кг та 0,004 г/кг, що є співставним з межею чутливості МКТ-2; це підтверджує значимість отриманих значень коефіцієнтів K_n і K_L та практичну придатність залежності (3.7) для визначення величини ΔC_{pt} .

Результати виконання циклу C показали наступне (див рис. 3.6):

– при збільшенні Δt розходження концентрацій ТЧ C_{pt}^d і C_{pt}^{st} зменшується; так, при збільшенні Δt з 10 до 30 с величина ΔC_{pt} зменшується у 1,8 рази;

– у досліджуваному діапазоні варіювання часу несталою режиму $\Delta t = 10 \dots 30$ с коефіцієнт K_L можна вважати постійною величиною, середнє значення якої становить 1,575; при цьому середньоквадратичне відхилення результату вимірювань K_L складає $\pm 0,105$ (г·с)/кг, що становить 6,7%.

Таким чином з врахуванням обраного типу регресійної залежності $\Delta C_{pt} = f((\Delta n / \Delta t), (\Delta L / \Delta t))$ і результатів експериментальних досліджень коефіцієнтів K_n та K_L формула для визначення величини ΔC_{pt} має вигляд:

$$\Delta C_{pt} = 0,96 \left(\frac{\Delta \bar{n}_+}{\Delta t} \right) + 1,575 \left(\frac{\Delta \bar{L}_+}{\Delta t} \right), \text{ г/кг}, \quad (4.7)$$

де $\Delta \bar{n}_+$ та $\Delta \bar{L}_+$ – позитивні значення величин $\Delta \bar{n}$ і $\Delta \bar{L}$.

В результаті досліджень концентрацій ТЧ на несталих режимах роботи дизеля встановлено залежність $\Delta C_{pt} = f((\Delta \bar{n} / \Delta t), (\Delta \bar{L} / \Delta t))$ у діапазонах варіювання параметрів Δt , $\Delta \bar{n}$ та $\Delta \bar{L}$: 10...30 с, 0,4...0,8 та 0,3...1,0, відповідно; розходження розрахункових та експериментальних даних при цьому складають $\pm 0,003 \dots 0,004$ г/кг.

3.6 Висновки до третього розділу

Встановлено тип регресійної залежності (поліном 2-го порядку), яка забезпечує адекватне оцінювання впливу режиму роботи дизеля, що характеризується параметрами \bar{n} та \bar{L} , на масові і питомі викиди та концентрації ТЧ; при цьому СКВ розрахункових та експериментальних даних дорівнюють 8,1...18,8 %;

Встановлено залежність для непрямого визначення масових концентрацій ТЧ у ВГ на несталих режимах роботи дизеля, які характеризуються тривалістю 10...30 с та діапазонами варіювання параметрів n , L , $\Delta n/\Delta t$ і $\Delta L/\Delta t$, приведених до безрозмірної форми – 0,4...0,8, 0,3...1,0, -0,2...0,2 і -0,35...0,35, відповідно. Відхилення розрахункових і експериментальних даних при використанні цієї залежності складають $\pm 0,005...0,006$ г/кг, що є співставним з межею чутливості МКТ-2.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИКО-ГРАВІМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ТЧ НА СТАЛИХ РЕЖИМАХ ВИПРОБУВАНЬ

4.1. Вимоги до точності сучасних методів контролю ТЧ

Поступове зниження допустимих рівнів викидів ТЧ від дизельних двигунів призводить до збільшення отриманої похибки вимірювання стандартизованого екологічного показника – середнього експлуатаційного викиду твердих частинок ТЧ від ВГ. Так, перехід від стандартних стандартів Євро 1 до Євро-6 зазначеного індексу для автомобільного дизеля знизився в 72 рази – з 0,36 до 0,005 г/кВт·год, а виникла невизначеність його визначення відповідно зросла: з 3 до 22% (у 7,3 рази) – при проведенні досліджень у тій же лабораторії; від 12 до 57% (4,8 рази) - коли дослідження проводилися в різних лабораторіях(рис. 4.1).

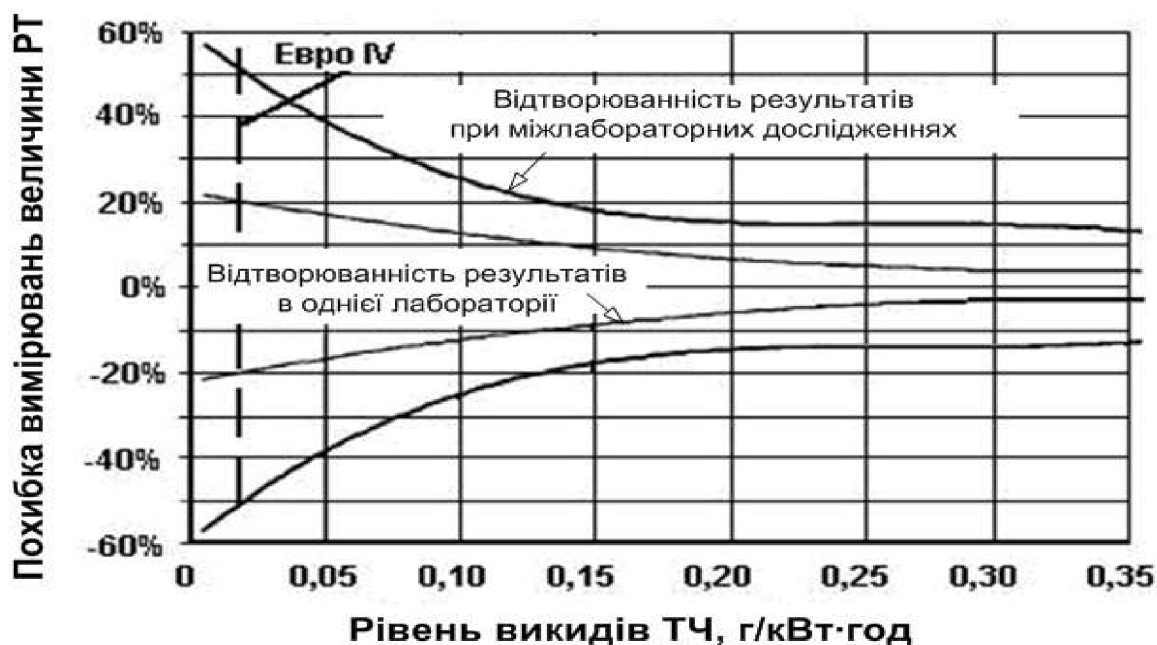


Рисунок. 4.1 – Збільшення похибки визначення показника PT в умовах зниження норма викиди ТЧ з ВГ дизелів

З метою забезпечення необхідної точності визначення маси викидів ТЧ, які знаходяться в межах 0,005 ... 0,02 г/кВт*год, сучасні методи вимірювання концентрацій ТЧ повинні мати чутливість 2-5 мкг/м³. До найбільш відомих високоточних методів контролю викидів ТЧ відносяться: конічний елемент, що коливається мікробалансом (ТЕОМ), заснований на відповідності резонансної частоти уловлювача, який використовується для збору частинок з масою матеріалу, який захоплюється; мікробаланс з п'єзоелектричним чутливим елементом – кварцовим кристалом, на гранях якого осідають ТЧ (Quartz Crystal Microbalance – QCM); метод кількісного аналізу РТ з використанням лазерно-індукованого розжарювання ВГ (Laser Induced Incandescence – LI), що дозволяє одночасно вимірювати масу і концентрацію чисел ТЧ, а також розміри первинних сажистих частинок – за допомогою одного приладу та інших.

Робота зі створення вітчизняних аналогів сучасних високоточних методів і обладнання для вимірювання викидів ТЧ від транспортних і промислових дизельних двигунів має високу актуальність. Автори даної роботи запропонували і дослідили непрямий оптико-гравіметричний метод контролю концентрацій і викидів ТЧ в стаціонарних режимах роботи дизеля.

4.2 Суть оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ

Суть оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ полягає у використанні можливостей ТЧ, що містяться в дизельних ВГ, для поглинання світлового випромінювання, що проходить через потік репрезентативного зразка газу; при цьому змінюється оптична щільність потоку зразка, що має кореляцію з концентрацією РМ.

Принцип дії цього методу полягає в наступному (рис. 4.2).

Перед аналізом дизельних ВГ, з метою моделювання природного процесу їх потрапляння в атмосферу, їх попередньо розбавляють чистим повітрям до температури не вище 52°C, в системі пробопідготовки і калібрування оптичного детектора концентрацій ТЧ, яким є мікротунель МКТ-2 (див. рис. 2.4).



Рисунок. 4.2 – Принципи методу оптико-гравіметричних вимірювань концентрацій ТЧ:

1 – мікротунель; 2 - модуль розподілу швидкості потоку зразка; 3 - електрофільтри; 4 - фотоелектричний ТЧ-детектор.

У спеціальному модулі (рис. 4.3) підготовлена таким чином проба газу ділиться на два потоки з рівними масовими витратами, один з яких спрямований в опорний канал, а інший - на робочий шлях (канал) вимірювача концентрації ТЧ. Кожен з цих каналів має електричний сажовий фільтр для уловлювання дизельного палива ТЧ (рис.4.4), фільтр в порівняльному каналі використовується постійно в ході проведення вимірювань, а фільтр на робочому шляху використовується тільки при встановленні нуля на детекторі концентрації ТЧ.

З двох каналів потоки газових проб (один з яких містить ТЧ) надходять в оптичний ТЧ-детектор (рис.4.5), при цьому визначаються відповідні оптичні щільності потоків, відмінність між ними є функцією від концентрації ТЧ в дизельному ЕГ. Налаштування цієї функції виконується шляхом калібрування оптичного ТЧ-детектора відповідно до процедури, викладеної нижче.

Для реалізації описаного методу розроблений прототип РМ-метра, який дозволяє контролювати миттєві значення концентрацій і викидів ТЧ: $c_{рт}$, PT_{mass} і PT_p .

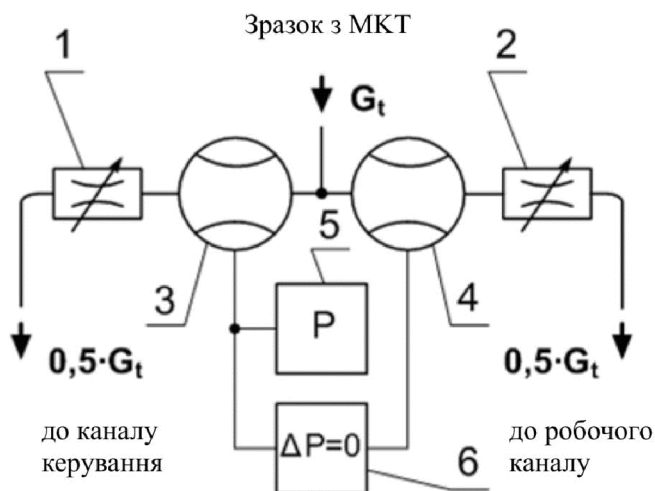


Рисунок 4.3 – Принципова схема модуля розподілу швидкості потоку вибірки: 1, 2 – зразки пристроїв управління потоком; 3, 4 – витратоміри; 5, 6 – перетворювачі диференціального тиску.

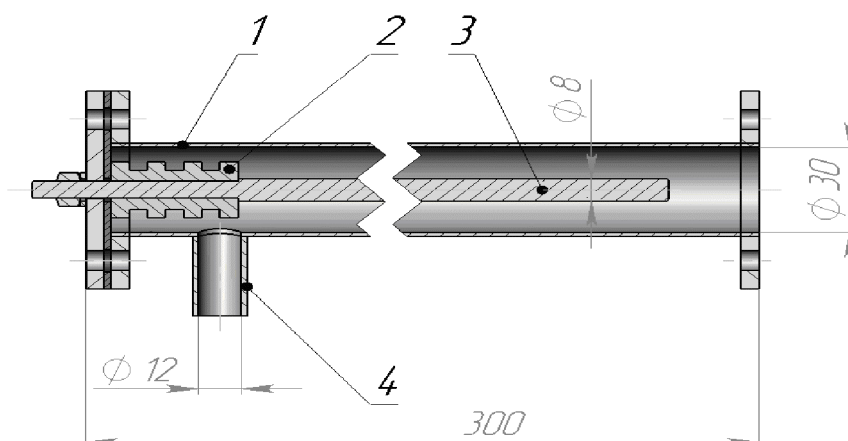


Рисунок. 4.4 Електричний фільтр для уловлювання ТЧ:

1 – трубопровід; 2 – ізолятор; 3 – металевий стрижень; 4 – з'єднувальна труба.

4.3 Визначення кількісних характеристик вмісту ТЧ у ВГ дизелів

Метод визначення кількісних характеристик вмісту ТЧ в ВГ дизельних двигунів передбачає наступний алгоритм:

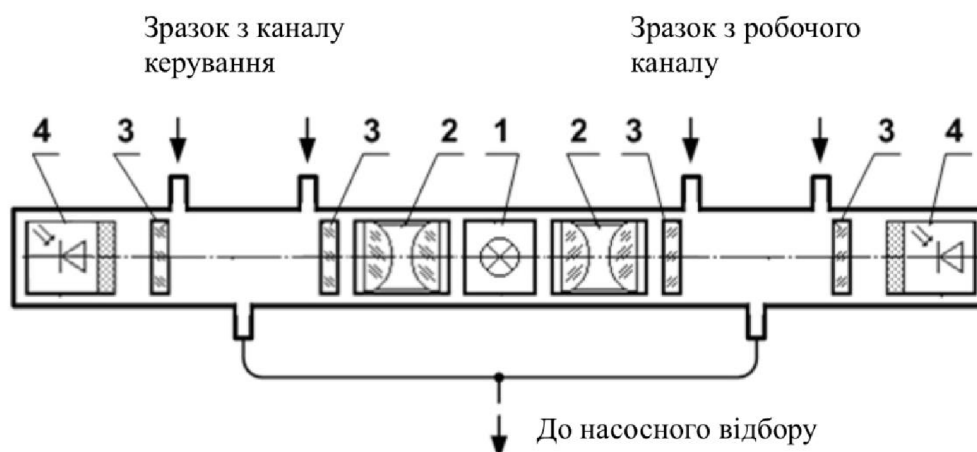


Рисунок. 4.5 Принципова схема оптичного детектора ТЧ:

1 – вузол джерела світла; 2 – система оптичних лінз; 3 – захисні окуляри;
4 – світловий детектор з компенсуючим фільтром.

1. Під час випробувань дизельного двигуна на гальмівному тестері, оснащеному ТЧ-метром, визначаються миттєві значення наступних параметрів:

- кількість оборотів колінчастого вала двигуна – n (хв^{-1}) і крутного моменту на валу двигуна – M_k ($\text{N}\cdot\text{m}$);
- навантаження на вал двигуна – L , яка визначається за формулою

$$L = \frac{M_k}{M_{k(\max)}} \cdot 100\%,$$

де $M_{k(\max)}$ – максимальний крутний момент на валу двигуна при поточному значенні n ;

- масова витрата дизеля ЕГ у вихлопній трубі – Гекс (кг/год);
- оптичні щільності розбавлених потоків зразка ВГ, що протікають в робочих – N_1 (%) і контрольних – N_0 (%) каналах оптичного ТЧ-детектора.

2. Миттєві значення n і L визначають масову концентрацію ТЧ в дизельному ЕГ у відповідній усталеній роботі двигуна:

$$c_{pt} = K_{mode}(n, L) \cdot \ln\left(1 - \frac{N_1 - N_0}{100}\right)^{-1}, \text{ г/кг}$$

де $K_{mode}(n, L)$ – коефіцієнт пропорційності, який залежить від режиму випробування і визначається при калібруванні оптичного детектора ТЧ.

Для визначення величини C_{stpt} вибирається тип залежності на основі рекомендацій MIRA (Асоціації дослідників автомобільної промисловості) шляхом непрямого визначення концентрацій ТЧ з використанням індексу димчастості ВГ [20].

3. Значення маси і питомих викидів ТЧ від ВГ дизельного двигуна визначаються за допомогою залежностей (3) і (4)

4.4 Процедура калібрування оптичного детектора ТЧ

Процедура калібрування оптичного детектора ТЧ передбачає встановлення залежності для визначення коефіцієнта $K_{mode}(n, L)$, яка використовується у формулі (21) для непрямого вимірювання величини c_{pt} . Дана процедура являє собою 2-х факторний експеримент, який складається з 4 основних і 3-х контрольних вимірювань; за його результатами визначається рівняння регресії 1-го порядку з нормалізованими змінними (рис. 4.6):

$$K_{mode} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2$$

де a_0 , a_1 і a_2 - постійні коефіцієнти,

$$X_1 = \frac{\bar{n} - \bar{n}_{mid}}{\bar{n}_{step}}; \quad X_2 = \frac{\bar{L} - \bar{L}_{mid}}{\bar{L}_{step}} \quad \text{нормалізовані змінні,}$$

$\bar{n}_{mid} = 0,8$, $\bar{L}_{mid} = 0,75$ середні значення діапазону варіацій \bar{n} і \bar{L} величин;

$\bar{n}_{\text{step}} = 0,2$; $\bar{L}_{\text{step}} = 0,25$ кроки зміни цінностей \bar{n} і \bar{L} ;

Коефіцієнти регресійної залежності (22) визначаються за результатами основних випробувань наступним чином [21]:

$$a_0 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 K_{\text{mode}_i}$$

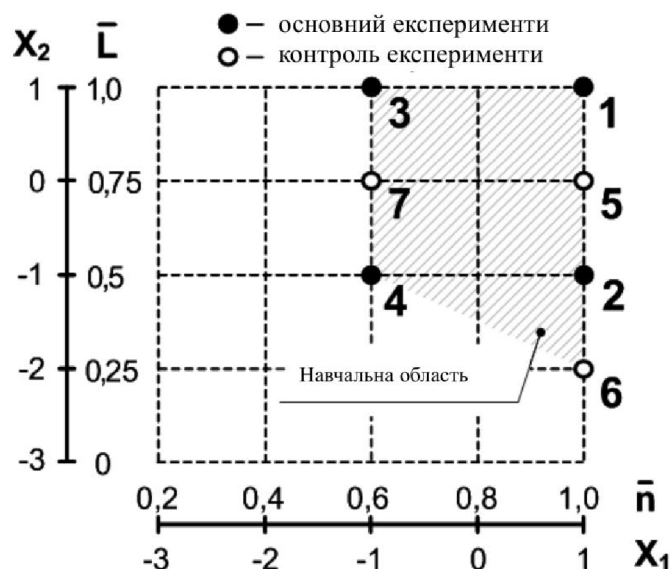


Рисунок.4.6 – План двофакторного експерименту з визначення залежності

$K_{\text{mode}}(n, L)$ в обсязі дослідження: $\bar{n} = 0,6 \dots 1,0$, $\bar{L} = 0,25 \dots 1,0$

$$a_1 = \frac{1}{4} \cdot (K_{\text{mode}_1} + K_{\text{mode}_2} - K_{\text{mode}_3} - K_{\text{mode}_4});$$

$$a_2 = \frac{1}{4} \cdot (K_{\text{mode}_1} - K_{\text{mode}_2} + K_{\text{mode}_3} - K_{\text{mode}_4}),$$

де $i = 1 \dots 4$ – індекс базового тесту;

K_{mode_i} – експериментально визначене значення коефіцієнта K_{mode} в i -му тесті:

$$K_{\text{mode}_i} = \frac{c_{\text{pt}_i}^{\text{exp}}}{\text{Ln}(1 - \Delta N_i / 100)^{-1}},$$

де c_{pt_i} – концентрація ГЧ, яка вимірюється за допомогою МКТ-2 в i -му тесті, г/кг;

ΔN_i – різниця оптичних густин потоків зразка в робочому і керуючому каналах оптичного ПТ-детектора в i -му тесті, %.

Результати калібрування оптичного детектора ТЧ. На основі описаної вище експериментальної установки для дослідження вмісту ТЧ в ЕГ відповідно до представленої процедури випробування був проведений 2-х факторний експеримент. Результати наведені в таблиці 4.1.

За результатами базових тестів 1-4 за формулами (23) – (25) визначаються коефіцієнти регресійної залежності – многочлена 1-го порядку (22): $a_0 = 0,334$, $a_1 = -0,017$, $a_2 = -0,068$.

Таким чином, для визначення концентрації ТЧ в ВГ на стаціонарних режимах дизельного двигуна залежність наступна:

– з нормованими змінними X_1 і X_2 :

$$c_{pt}^{st} = (0.334 - 0.017 \cdot X_1 - 0.068 \cdot X_2) \cdot \ln(1 - \Delta N/100)^{-1};$$

– з безрозмірними змінними \bar{n} і \bar{L} :

$$c_{pt}^{st} = (0.606 - 0.085 \cdot \bar{n} - 0.272 \cdot \bar{L}) \cdot \ln(1 - \Delta N/100)^{-1}$$

За результатами контрольних експериментів 5–7 було визначено абсолютний Δc_{pt} , відносний δc_{pt} та стандартні відхилення розрахункових значень c_{pt} (отриманих за допомогою залежності (28)) від експериментальних даних – $S_{c_{pt}}$. Результати розрахунку – $\Delta c_{pt} = -0.005..0.007$ г/кг, $\delta c_{pt} = -9 \dots 13\%$, $S_{c_{pt}} = \pm 0,006$ г/кг можна порівняти з характеристиками точності мікротунелів МКТ-2.

Таким чином, результати експерименту показали задовільну точність і практичну придатність запропонованого авторами оптико-гравіметричного методу для непрямого контролю вмісту ТЧ в ВГ дизелі в стаціонарних режимах в діапазонах параметрів \bar{n} і \bar{L} : 0,6 ... 1,0 і 0,25 ... 1,0 відповідно.

4.5 Оцінка економічної ефективності екологічних заходів

Економічні питання природокористування і природоохоронної діяльності тісним чином пов'язані з вживаним технологічним обладнанням і апаратурою.

Таблиця 4.1 – Результати експериментальних досліджень регресійної залежності $K_{mode}(n, L)$

№ досл	Параметри режимів перевірки у стабільному стані					Результати вимірів та обчислень					
	n, X_B^{-1} (\bar{n})	X_1	$M_k, N \cdot m$ (\bar{L})	X_2	$P_e,$ kW	G_{exh} кг/год	q	$\Delta N,$ %	$c_{pt}^{exp},$ г/кг	K_{mode}	$\Delta c_{pt},$ г/кг $\delta c_{pt}, \%$
1	2000 (1)	1	478,0 (1)	1	100,1	712,0	4,29	5,52	0,058	0,2157	0,009 (15,9)
2	2000 (1)	1	239,0 (0,5)	-1	50,0	570,7	3,97	2,52	0,044	0,4175	-0,004 (-8,0)
3	1500 (0,6)	-1	541,2 (1)	1	85,0	483,3	4,49	3,79	0,059	0,3164	-0,006 (-10,5)
4	1500 (0,6)	-1	274,1 (0,5)	-1	43,1	387,2	4,28	1,21	0,021	0,3853	0,001 (5,9)
5	2000 (1)	1	351 (0,75)	0	73,6	652,9	4,49	3,26	0,055	0,3166*	-0,005 (-8,9)
6	2000 (1)	1	119,5 (0,25)	-2	25,0	488,1	4,23	4,46	0,087	0,4520*	0,007 (8,6)
7	1500 (0,6)	-1	407,7 (0,75)	0	64,0	3,63,7	4,44	1,91	0,036	0,3509*	-0,005 (-13,6)

Під економічним збитком від забруднення навколишнього середовища розуміється грошова оцінка фактичних і можливих збитків (втрат), обумовлених дією забруднення.

Механізм виникнення збитку від забруднення можна представити наступною схемою:

- 1) утворення шкідливих відходів унаслідок господарської діяльності і життя людини;
- 2) надходження забруднень в навколишнє середовище;

- 3) зміна деяких властивостей навколишнього природного середовища;
- 4) зміна (погіршення) умов життєдіяльності під впливом зміни властивостей навколишнього середовища;
- 5) погіршення показників якості життя, матеріальних умов виробництва;
- 6) зниження показників продуктивності праці внаслідок погіршення якості життя.

Визначення економічного збитку може бути виконано методом прямого рахунку як сума величин збитків у всіх об'єктів, що піддалися дії шкідливих викидів, або по методиках укрупненої оцінки.

Економічний ефект природоохоронного заходу виражається величиною річного економічного збитку від забруднення середовища, відверненого завдяки цим заходам, або сумою відвернених збитків і річного приросту доходу від поліпшення виробничих результатів унаслідок проведення природоохоронних заходів.

Відвернений економічний збиток від забруднення середовища рівний різниці між величиною збитку, який мав місце до здійснення реалізованого заходу, і залишкового збитку після проведення цього заходу.

Платежі за забруднення навколишнього природного середовища стягується за:

- викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними і пересувними джерелами забруднення;
- скиди забруднюючих речовин безпосередньо у водні об'єкти;
- розміщення відходів.

Розрахунок економічної ефективності природоохоронних заходів ґрунтується на зіставленні витрат на їх здійснення з економічним результатом, досягнутим завдяки цим заходам. Економічний результат виражається величиною відверненого економічного збитку, приросту продукції, економії ресурсів і ін.

Перевищення економічного результату над витратами на його досягнення свідчить про економічну ефективність природоохоронного заходу. Різниця між результатом і витратами характеризує економічний ефект.

Одноразові капітальні витрати на зниження токсичності відпрацьованих газів вантажного автомобіля на застосування рециркуляції і установку сажового фільтру, складають $K=10000$ грн. Додаткові поточні витрати протягом року складають $C=1200$ грн.

4.6 Висновки до четвертого розділу

В результаті виконання комплексу наукових досліджень на базі дизеля 4ЧН12/14 з мікротунелем МКТ-2, отримано такі результати:

За результатами контрольних експериментів 5–7 було визначено абсолютний $\Delta_{срт}$, відносний $\delta_{срт}$ та стандартні відхилення розрахункових значень $срт$ (отриманих за допомогою залежності (28)) від експериментальних даних – $S_{срт}$. Результати розрахунку – $\Delta_{срт} = -0.005..0.007$ г/кг, $\delta_{срт} = -9 \dots 13\%$, $S_{срт} = \pm 0,006$ г/кг можна порівняти з характеристиками точності мікротунелів МКТ-2.

Таким чином, результати експерименту показали задовільну точність і практичну придатність запропонованого авторами оптико-гравіметричного методу для непрямого контролю вмісту ТЧ в ВГ дизелі в стаціонарних режимах в діапазонах параметрів \bar{n} і \bar{L} : 0,6 ... 1,0 і 0,25 ... 1,0 відповідно.

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 $E_{тіп}=300лк$	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 теплого 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:

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

де $\Phi_{л}$ = 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;

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

Z — коефіцієнт мінімальної освітленості;

$S = 16$ — площа приміщення, m^2 .

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 η являє собою відношення потоку, що падає на поверхню, до суммарного з усіх ламп. Значення η 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, %:

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

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 .

Необхідну кількість світильників визначають за формулою:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi_s \cdot n \cdot \eta} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 16 \cdot 1,1}{1995 \cdot 2 \cdot 0,45} = 5,5 \approx 6$$

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 вживання 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_0 , Y_0 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. Напряга 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

Ці дослідження вирішили поточну проблему, тобто встановити наукову і практичну основу для вимірювання викидів ПМ дизельного мотора за допомогою легкого методу ваги, який надає необхідну точність і дозволяє зменшити витрати обладнання за допомогою тунелів розваги. Результати досліджень та виконана робота можуть приводити наступні висновки.

1. Для підвищення ефективності методів контролю ваги твердих частинок дизельних частинок у вихлопних газах автомобілів потрібне вивчення не тільки умов його експлуатації, а й існуючих методів характеристики, організації планів.

2. ТЧ (друга за значимістю після оксидів азоту забруднююча речовина, що міститься у ВГ дизеля) являє собою полікомпонентне утворення з трьома основними компонентами: дизельною сажою, розчинною органічною фракцією – РОФ та сульфатами, відносні частки яких залежать від режиму роботи дизеля і складають 33...90%, 7...49% та 1...4%, відповідно. Висока токсичність ТЧ обумовлена входженням до складу РОФ речовин з дратівливою, мутагенною та канцерогенною діями.

3. Процедури вимірювань нормованих середньоексплуатаційних викидів ТЧ – показників PT являють собою випробувальні цикли, які складаються з певної кількості сталих режимів роботи дизеля з встановленими значеннями числа обертів вала двигуна і навантаження. При випробуваннях автомобільних дизелів використовують 13-ступінчастий цикл ESC, встановлений Правилами ЄЕК ООН R-49, дизелів сільськогосподарського призначення – 8-ступінчастий цикл, встановлений Правилами ЄЕК ООН R-96, тепловозних дизелів – 3-ступінчастий цикл, встановлений міжнародним стандартом ISO 8178-F (вітчизняний аналог – цикл ДСТУ 32.001-94) та ін. Значимість окремого режиму випробувань враховується відповідним ваговим фактором WF . Показник PT розраховується непрямым шляхом на основі результатів прямих

вимірювань величин, що визначають середні за цикл масовий викид ТЧ та ефективну потужність дизеля.

4. При виконанні стандартної процедури вимірювань показника PT слід враховувати таку її особливість, як вплив температурного режиму відбору проб ТЧ (характеризується температурами повітря – t_{dil} і проби перед фільтром – t_f та величиною зниження t_f внаслідок охолодження тунелю – $\Delta t_{f(52)}$) та умов стабілізації робочого фільтру перед зваженням (характеризуються температурою – t_{st} та тривалістю – τ_{st} стабілізації) на масу ТЧ, що визначається – m_f . Варіювання величин t_{dil} , t_f , $\Delta t_{f(52)}$ та t_{st} , τ_{st} в допустимих нормативними документами діапазонах приводить до виникнення методичних похибок вимірювань показника PT , які утворюються на етапах пробопідготовки – δPT_{tf} та стабілізації фільтру – δPT_{st} внаслідок розходження результатів визначення величини m_f . Величини δPT_{tf} та δPT_{st} разом з інструментальною похибкою δPT_{in} утворюють результуючу похибку вимірювань показника PT – δPT .

5. Досліджено макетний зразок автоматизованої частковопоточної системи – мікротунеля МКТ-2. Ця система дозволяє визначати викиди ТЧ – на окремих режимах роботи дизеля та середньоексплуатаційні значення з похибками: МКТ-2 – $\pm 3 \dots 10\%$ та $\pm 3,5\%$, відповідно. Випробування на мотонних стендах підтвердили практичну придатність і ефективність МКТ-2 при про-веденні екологічних випробувань ДВЗ.

6. Встановлено тип регресійної залежності (поліном 2-го порядку), яка забезпечує адекватне оцінювання впливу режиму роботи дизеля, що характеризується параметрами \bar{n} та \bar{L} , на масові і питомі викиди та концентрації ТЧ; при цьому СКВ розрахункових та експериментальних даних дорівнюють $8,1 \dots 18,8 \%$;

7. Встановлено залежність для непрямого визначення масових концентрацій ТЧ у ВГ на несталих режимах роботи дизеля, які характеризуються тривалістю $10 \dots 30$ с та діапазонами варіювання параметрів n , L , $\Delta n/\Delta t$ і $\Delta L/\Delta t$, приведених до безрозмірної форми – $0,4 \dots 0,8$, $0,3 \dots 1,0$, $-0,2 \dots 0,2$ і $-0,35 \dots 0,35$,

відповідно. Відхилення розрахункових і експериментальних даних при використанні цієї залежності складають $\pm 0,005 \dots 0,006$ г/кг, що є співставним з межею чутливості МКТ-2.

8. За результатами контрольних експериментів 5–7 було визначено абсолютний Δc_{pt} , відносний δc_{pt} та стандартні відхилення розрахункових значень c_{pt} (отриманих за допомогою залежності (28)) від експериментальних даних – $S_{c_{pt}}$. Результати розрахунку – $\Delta c_{pt} = -0.005 \dots 0.007$ г/кг, $\delta c_{pt} = -9 \dots 13\%$, $S_{c_{pt}} = \pm 0,006$ г/кг можна порівняти з характеристиками точності мікротунелів МКТ-2.

Таким чином, результати експерименту показали задовільну точність і практичну придатність запропонованого авторами оптико-гравіметричного методу для непрямого контролю вмісту ГЧ в ВГ дизелі в стаціонарних режимах в діапазонах параметрів \bar{n} і \bar{L} : 0,6 ... 1,0 і 0,25 ... 1,0 відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Regulation No 49. Revision 5. 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, 2011. – 194 p.

2. Regulation № 96. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with regard to the emissions of pollutants by the engine. Geneva, 1995. – 109 p.

3. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emis-sions, 1996. – 94 p.

4. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 2: Test Measurement of gaseous and particulate exhaust emissions at site, 1996. – 22 p.

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

6. Environmental Protection Agency. 40 CFR Parts 85, 89 and 92: Emission Standards for Locomotives and Locomotive Engines // Federal Register. Vol. 62, № 28, 1997. – 240 p.

7. Hardenberg H. Grenzen der Rubmassnbestimmung aus optischen Transmessungen / H. Hardenberg, H. Albrecht // MTZ: Motortechn. Z. – 1987. – 48, № 2. – P. 51-54.

8. Парсаданов И.В. Оценка выброса твердых частиц с отработавшими газами дизеля. // Авиационно-космическая техника и технология. Тепловые двигатели и энергоустановки. Сб. науч. тр. / ХАИ. – X., 2000. – Вып. 19. – С. 176-178.

9. Кульчицкий А.Р. Расчетно-экспериментальное определение выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей // Двигателестроение, 2005, №4. – С. 39-44.
10. Steven H. Development of Worldwide Harmonized Heavy-duty Engine Emissions Test Cycle / Final Report ECE-GRPE WHDC Working Group. – April 2001 // Informal document №2 GRPE 42nd session. – 28 May – 1 Yune 2001. – TRANS /WP 29/GRPE/2001/2. – 58 p.
11. Worldwide Harmonized Heavy Duty Emissions Certification Procedure / Draft Global Technical Regulation (GTR) / UN/ECE-WP 29 – GRPE WHDC Working Group. - Informal Document №GRPE-48-7 (48th GRPE, 01-04 June 2004, agenda item 1.1) – 86 p.
12. Поливянчук А.П. Моделирование процесса охлаждения отработавших газов дизельного двигателя в разбавляющем туннеле / А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – № 1. – С. 121–125.
13. Поливянчук А.П. Совершенствование методики экологических испытаний дизелей с целью повышения ее экономической эффективности / А.П. Поливянчук, В.А. Звонов // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т.43. Вип. 30. Техногенна безпека. – 2005. – С. 112-115.
14. Поливянчук А.П. Исследование факторов, влияющих на точность измерения массовых выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизелей / А.П. Поливянчук // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2005. – №9/25.-С.202-205.
15. Polivyanchuk A.P. Experimental verification of microtunnel MKT-2 on the brake stand autotractor diesel engine / A.P. Polivyanchuk, I.V. Parsadanov // Industrial technology and engineering. – Republic of Kazakhstan, 2015. – №2 (15). – P. 11-16.
16. ГСТУ 32.001-94. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами тепловозных дизелей. Нормы и методы определения. – К.: Изд-во стандартов, 1994. – 14 с.

17. Звонов В.А. Выделение токсичных веществ тепловозными дизелями типа 2Д50 / В.А. Звонов, А.П. Дядин, П.П. Фесенко и др. // Двигатели внутреннего сгорания. Реферативный сборник НИИИформТяжМаш. – М. 1976, № 4-76-12. – С.10-12.

18. Поливянчук А.П. Оценка неопределенности результатов измерений выбросов твердых частиц в ходе экологических испытаний дизелей / А.П. Поливянчук // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2012. – №5 (176), Ч. 2. – С. 121-128.

19. Lach G. Specific problems of sampling and measuring diesel exhaust emissions / G. Lach, J. Wincler // SAE Techn. Pap. Ser. №881763, 1988. – 12 p.

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

21. Поливянчук А.П. Сравнительный анализ дифференциального и компенсационного способов измерения массового расхода отработавших газов дизеля в микротуннеле / А.П. Поливянчук // Двигатели внутреннего сгорания, 2011. – №2. – С. 123-126.

22. Mini Dilution Tunnel. – Perkins Technology Limited. – London, England, 1990. – 16 p.

23. Mini-Verdunnungstunnel MT 474. Technische Beschreibung. – AVL, List GmbH Graz, Austria, 1989. – 20 p.

24. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Воронкин, М.А. Виленский и др. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.

25. Smart Sampler PC SPC 472. Operating Manual. Diesel particulate dilution and sampling equipment. AVL, Austria, 1993. – 69 p.

26. Поливянчук А.П. Экологическая диагностика тепловозов по показателю массовых выбросов в атмосферу дизельных твердых частиц // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. Серія: Транспорт. – Луганськ: ЧНУ, 2001. – № 7 (41). – С. 131-135.

27. K. Engeljehring, W. Schindler, Sulzer. Meeting ISO 8178 Requirements for the Measurement of Diesel Particulates with Partial-Flow Dilution Systems. SAE Techn. Pap. Ser. №932466, 1993. – 10 p.

28. Heavy Duty Transient Test Facility. – Perkins Technology Limited. – London, England, 1990. – 25 p.

29. PS 2000. Particle Sampling System with Dilution Tunnel. – Pirburg AG, Neuss, Germany, 2001. – 4p.

30. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: diesel and gasoline exhausts and some nitroarenes. Vol. 46, Lyon, France: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1989. – 458 p.

31. Mundt D.J., Nauss K.H., Gohen A.J., Greenbaum D.S. Diesel emission and lung cancer: epidemiology and quantitative risk assessment: A special report of the Institute Diesel Epidemiology Expert Panel // Health Effect Institute, 1999. – 74 p.

32. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. – National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, 2002. – 669 p.

33. Dawson D.S., Alexeeff G.V., Budroe J.D., Campelman S.V. et al. For the proposed identification of diesel exhaust as toxic air contaminant. Part B: Health risk assessment for diesel exhaust. – California EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Air Toxicology and Epidemiology Section, 1998. – 442 p

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ГРАВИМЕТРИЧНОГО
КОНТРОЛЮ ДИЗЕЛЬНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК У ВІДПРАЦЬОВАНИХ
ГАЗАХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР
(назва магістерської кваліфікаційної роботи)

**Підвищення ефективності методу
гравіметричного контролю дизельних твердих
частинок у відпрацьованих газах автомобілів в
умовах товариства з обмеженою відповідальністю
«Гніванський гранітний кар'єр»**

Фань Юнцань

Студент: Фань Юнцань

Керівник: д.т.н., професор Полив'янчук А.П.

Проблематика, мета і завдання роботи

Проблема, яка вирішується: удосконалення вартісного та трудомісткого методу гравіметричного контролю одного з основних екологічних показників автомобільних дизелів в умовах промислових підприємств – масового викиду твердих частинок (ТЧ) з відпрацьованими газами (ВГ) двигуна.

Об'єкт: процеси забруднення атмосфери дизельними ТЧ, які відносяться до найбільш небезпечних компонентів ВГ автомобілів, викиди яких нормуються екологічними стандартами.

Предмет: ефективні методи непрямого оцінювання концентрації ТЧ у ВГ автомобілів на сталих і несталих режимах роботи двигуна.

Мета: Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю дизельних ТЧ у ВГ автомобілів в умовах підприємства видобувної галузі шляхом створення на його основі економічних, зручних у експлуатації методів непрямого визначення концентрації ТЧ у ВГ на сталих і несталих режимах роботи двигуна.



Проблематика, мета і завдання роботи

Завдання роботи :

- 1— огляд базового підприємства – ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр»;
- 2— аналіз структури та токсикологічних властивостей дизельних ТЧ;
- 3— аналіз технології та засобів гравіметричного контролю ТЧ у ВГ автомобіля;
- 4— розробка експериментальної установки для досліджень гравіметричного і розрахункових методів контролю ТЧ – мікротунелю МКТ-2;
- 5— створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на сталих режимах роботи автомобільних дизелів;
- 6— розробка та оцінка ефективності оптико-гравіметричного методу контролю ТЧ на сталих режимах випробувань;
- 7— створення розрахункового методу визначення концентрацій ТЧ у ВГ на несталих режимах роботи автомобільних дизелів



Наукова новизна одержаних результатів

Удосконалено методи непрямого визначення одного з основних нормованих екологічних показників автомобільних дизелів – масового викиду ТЧ з ВГ шляхом використання розрахункових залежностей концентрації ТЧ від параметрів двигуна, які визначаються експериментальним шляхом.



ТОВ "Гніванський гранітний кар'єр"

одне з найбільших підприємств з виробництва щебеневої продукції в Україні

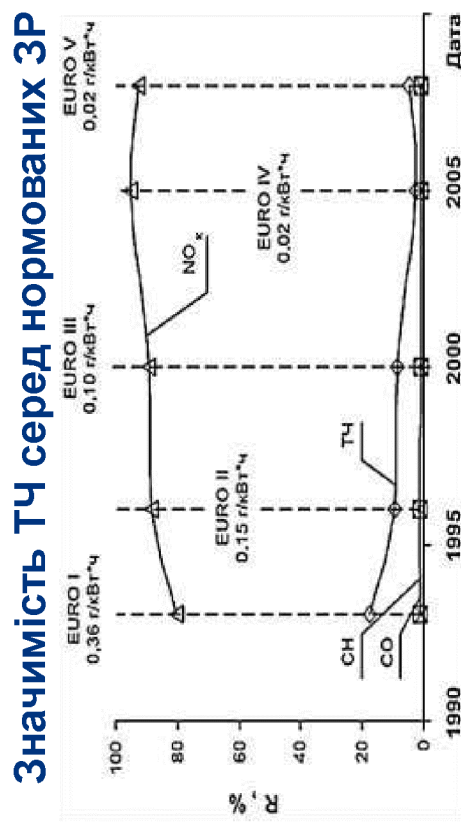
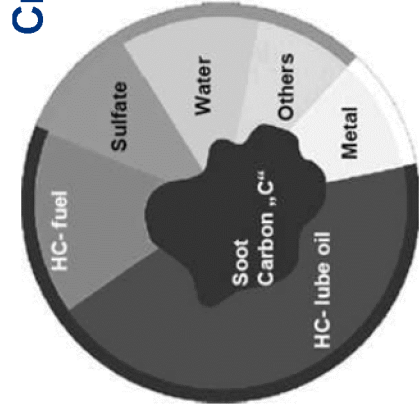
[Наша продукція](#) [Наші клієнти](#) [Історія підприємства](#) [Контакти](#) [Фото](#) [Річний звіт](#)

Фотографії Гніванського гранітного кар'єру

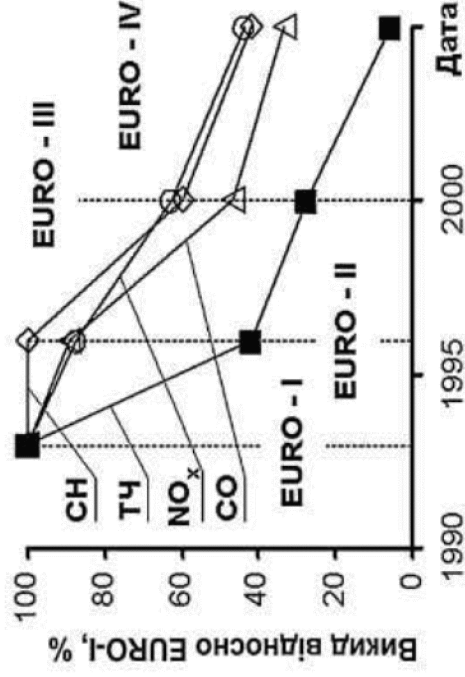
Оскільки ми – одне з найбільших підприємств з виробництва щебеневої продукції в Україні, пропонуємо подивитись Вам фотографії нашого кар'єру.



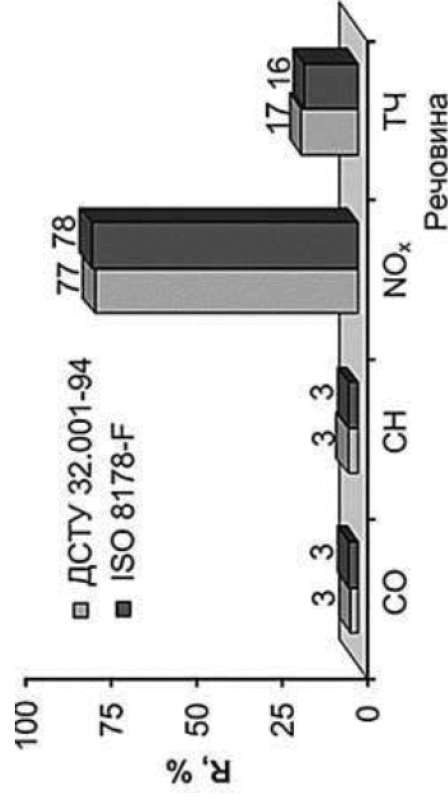
Токсикологічна характеристика ДИЗЕЛЬНИХ ТЧ



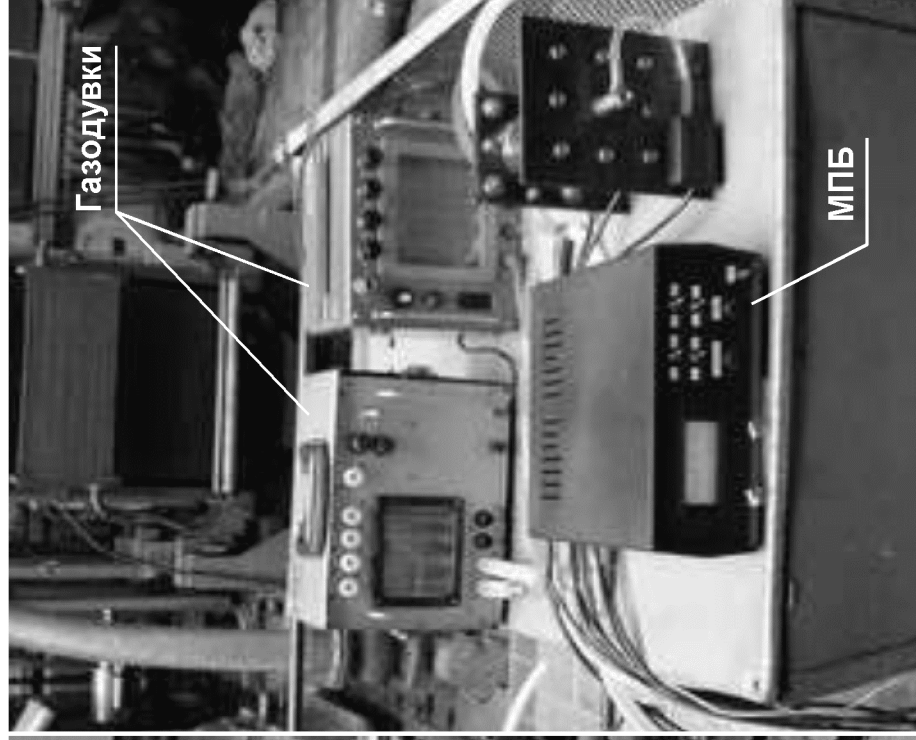
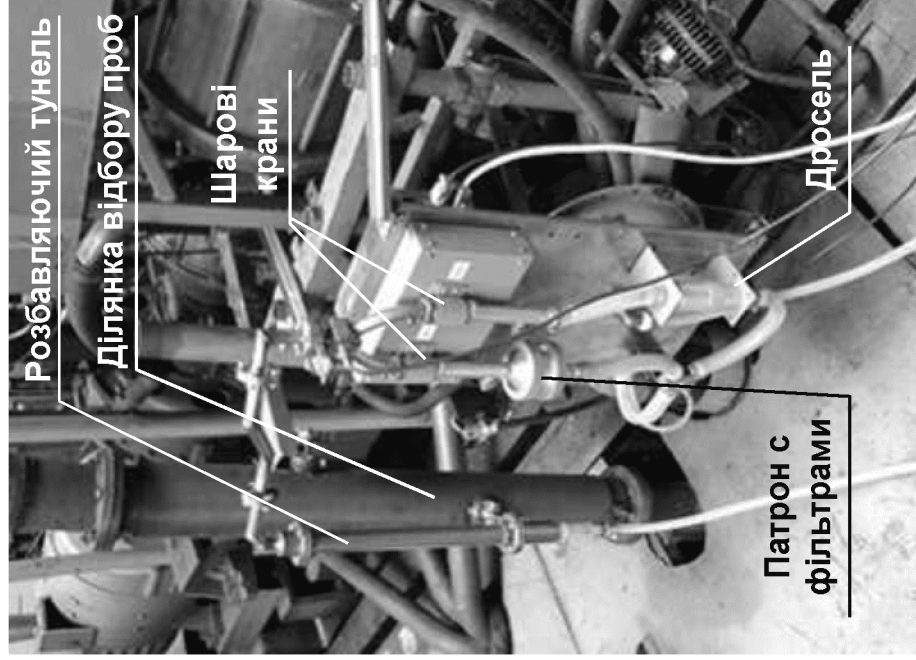
Динаміка скорочення викидів ТЧ



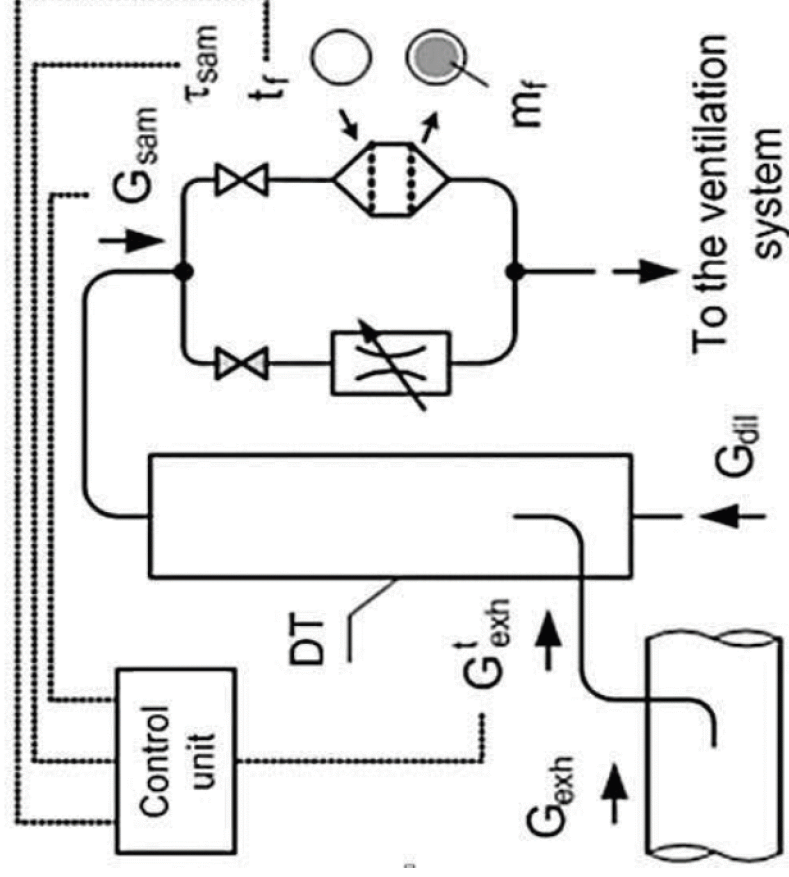
Індивідуальний внесок у токсичність



Експериментальна установка для досліджень вмісту ТЧ у ВГ дизеля з мікротунелем МКТ-2



Принципова схема мікротунеля МКТ-2



1 – система гравіметричного контролю ТЧ –мікротунель МКТ-2

2 – камера для стабілізації та зважування фільтрів

Результати досліджень вмісту ТЧ у ВГ на сталих режимах роботи дизеля

№ реж.	Контрольні режими випробувань						Результати вимірювань			
	п, ХВ ⁻¹	М _к , Н·м	Р _е , кВт	L, %	С _{р_t} , г/мн ³	РТ _{mass} , г/год	РТ _p , г/кВт·го	Д		
1	2000	478,0	100,1	100	0,063	37,82	0,378			
2	2000	351,4	73,6	73,5	0,038	20,82	0,283			
3	2000	239,0	50,05	50	0,042	20,06	0,401			
4	2000	119,5	25,02	25	0,062	25,32	1,012			
5	1500	541,2	85,01	100	0,074	30,10	0,354			
6	1500	407,7	64,03	75,3	0,044	15,61	0,244			
7	1500	274,8	42,95	50,5	0,034	11,07	0,258			
8	1500	140,6	22,08	26,0	0,023	6,88	0,311			
9	1000	379,6	39,74	100	0,125	24,42	0,614			
10	1000	281,2	29,44	74,1	0,071	13,06	0,444			
11	1000	189,1	19,8	49,8	0,030	5,50	0,278			
12	1000	92,1	9,642	24,3	0,019	3,48	0,361			

Методика оцінки впливу параметрів сталих режимів на вміст ТЧ у ВГ

Визначення регресійних залежностей

$$Y = f(n, L)$$

де Y – узагальнене позначення величини, яка контролюється – C_{pt} , PT_{mass} або PT_p ; $f(n, L)$ – функція 2-х змінних – n та L .

Досліджувальні регресійні залежності

$$Y = K_1 \cdot f_n(Y) \cdot f_L(Y) \quad \text{залежність - 1}$$

$$Y = K_2 + F_n(Y) + F_L(Y) \quad \text{залежність - 2}$$

$$Y = A_0 + A_1 \cdot n + A_2 \cdot L + A_{11} \cdot n^2 + A_{22} \cdot L^2 + A_{12} \cdot n \cdot L \quad \text{залежність - 3}$$

Критерії точності залежностей 1-3

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Y_{pi} - Y_i)^2}{m \cdot (m - 1)}}$$

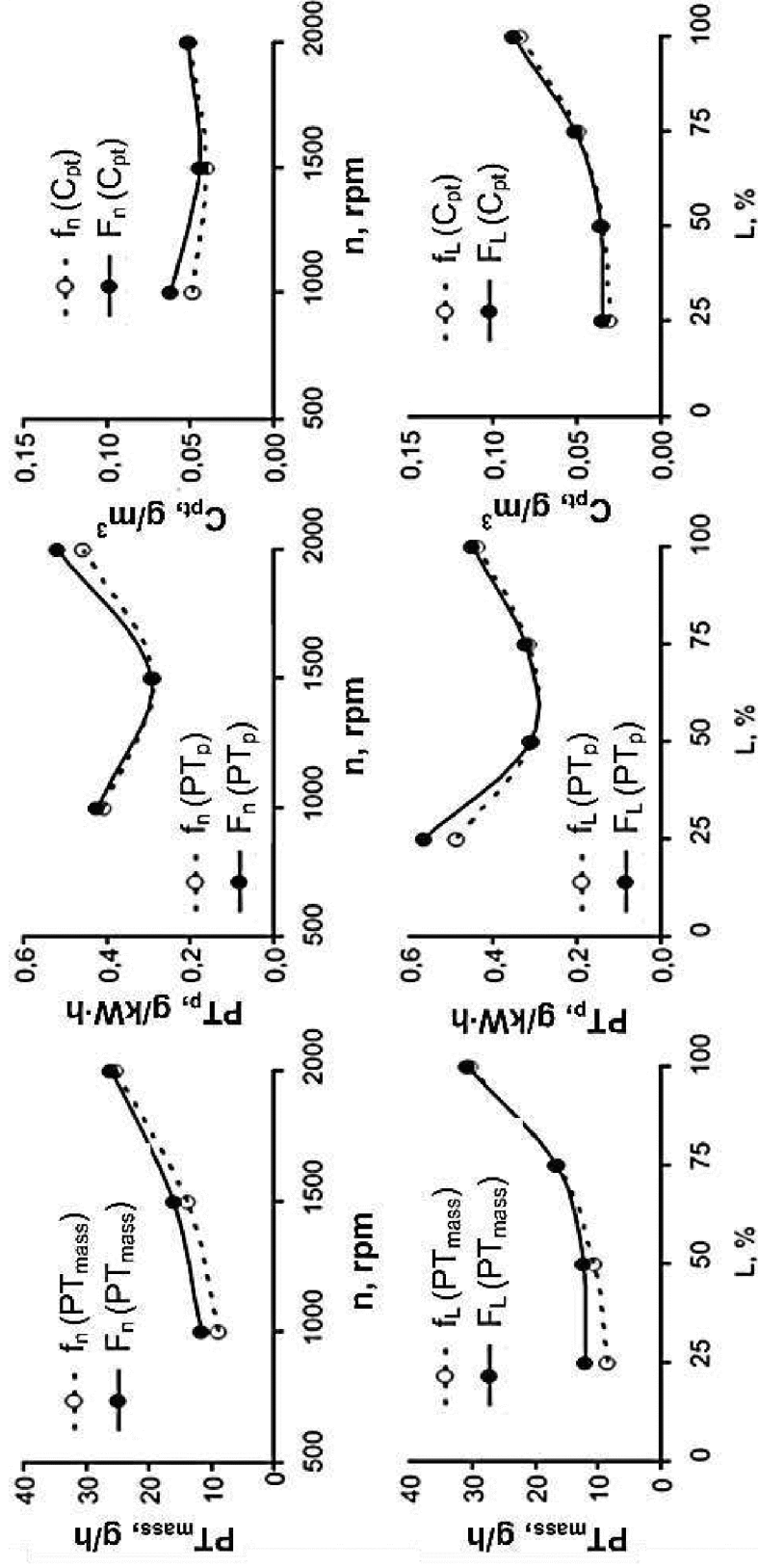
$$S_Y = \frac{S_Y}{Y_a} \cdot 100\%$$

де S_y – абсолютна величина,
 s_y – відносна величина,
 Y_a – середні значення досліджуваної величини Y .

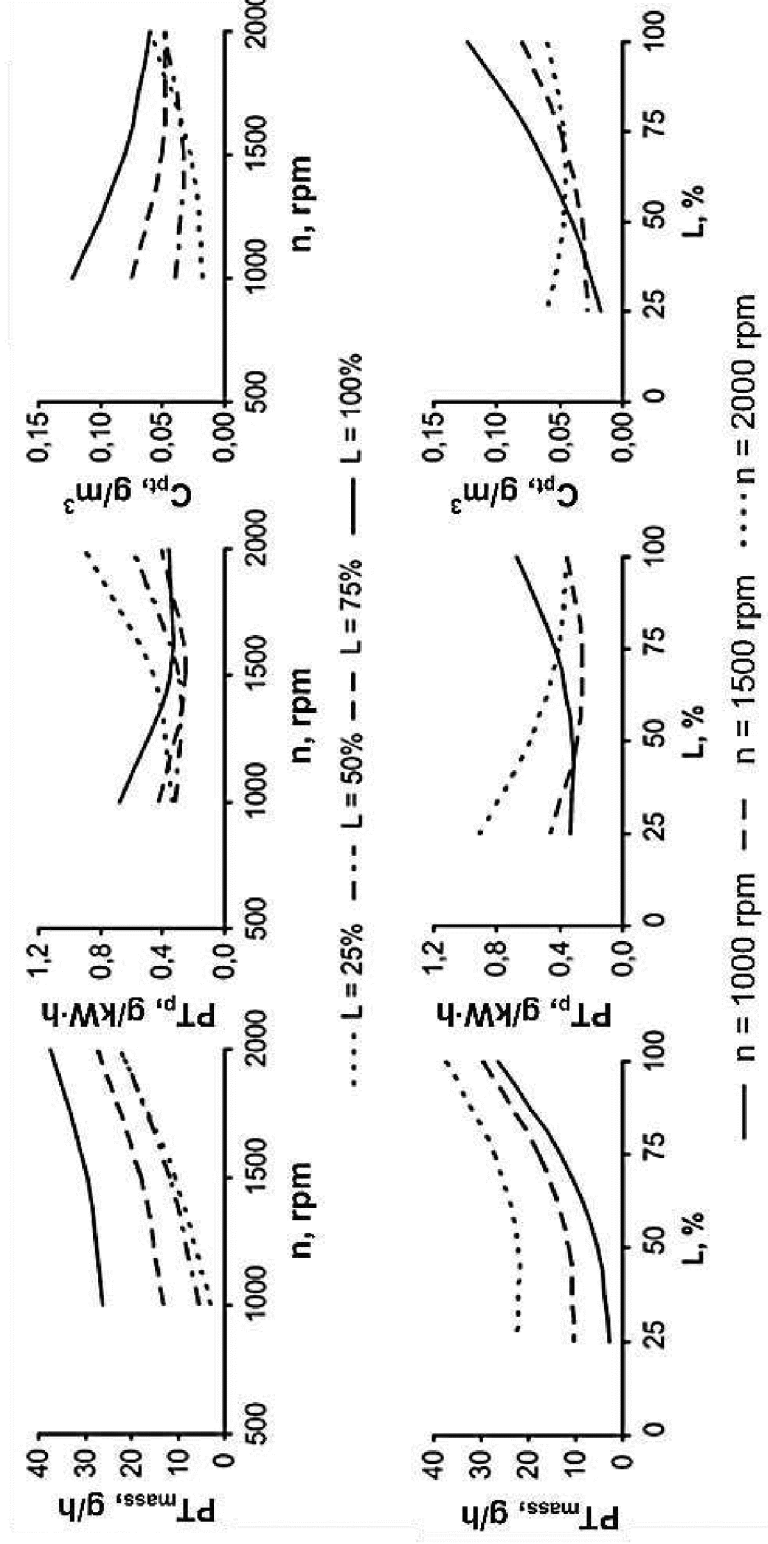
Результати обчислень коефіцієнтів K_1 , K_2 та A_i залежностей 1-3

Величина	Залежність	Значення коефіцієнтів									
		K_1	K_2	A_0	A_1	A_2	A_{11}	A_{22}	A_{12}		
C_{pt}	1	23,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0,021 5	$-8,8 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$		
PT_{mass}	1	0,072	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-17,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	2,032	$-5,4 \cdot 10^{-3}$	$-1,1 \cdot 10^{-1}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$-1,1 \cdot 10^{-4}$		
PT_p	1	2,752	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-0,41	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	0,947	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$-1,2 \cdot 10^{-5}$		

Результати математичного моделювання з використанням залежностей 1 і 2



Результати математичного моделювання з використанням залежності 3



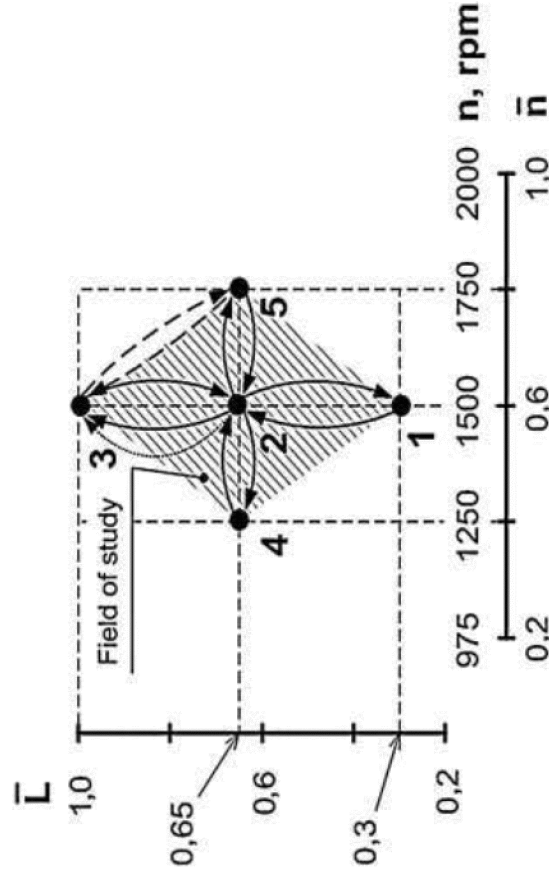
Результати оцінки точності розрахункових залежностей 1-3 для визначення вмісту ТЧ у ВГ

Залежність	S _γ			S _γ , %		
	S _{Cpt} , г/мн ³	S _{PTmass} , г/год	S _{PTp} , г/кВт·год	S _{Cpt}	S _{PTmass}	S _{PTp}
1	0,0181	5,27	0,121	34,7	29,5	29,3
2	0,0176	2,52	0,159	33,7	14,1	38,6
3	0,0042	2,02	0,077	8,1	11,3	18,8

Методика експериментальних досліджень впливу несталих режимів роботи дизеля на вміст ТЧ у ВГ

План експерименту

Нормування змінних n та L



$$\bar{n}_i = \frac{n_i - n_{idle}}{n_{nom} - n_{idle}}$$

$$\bar{L}_i = \frac{M_{ki}}{M_{k(max)i}}$$

Визначення концентрацій ТЧ

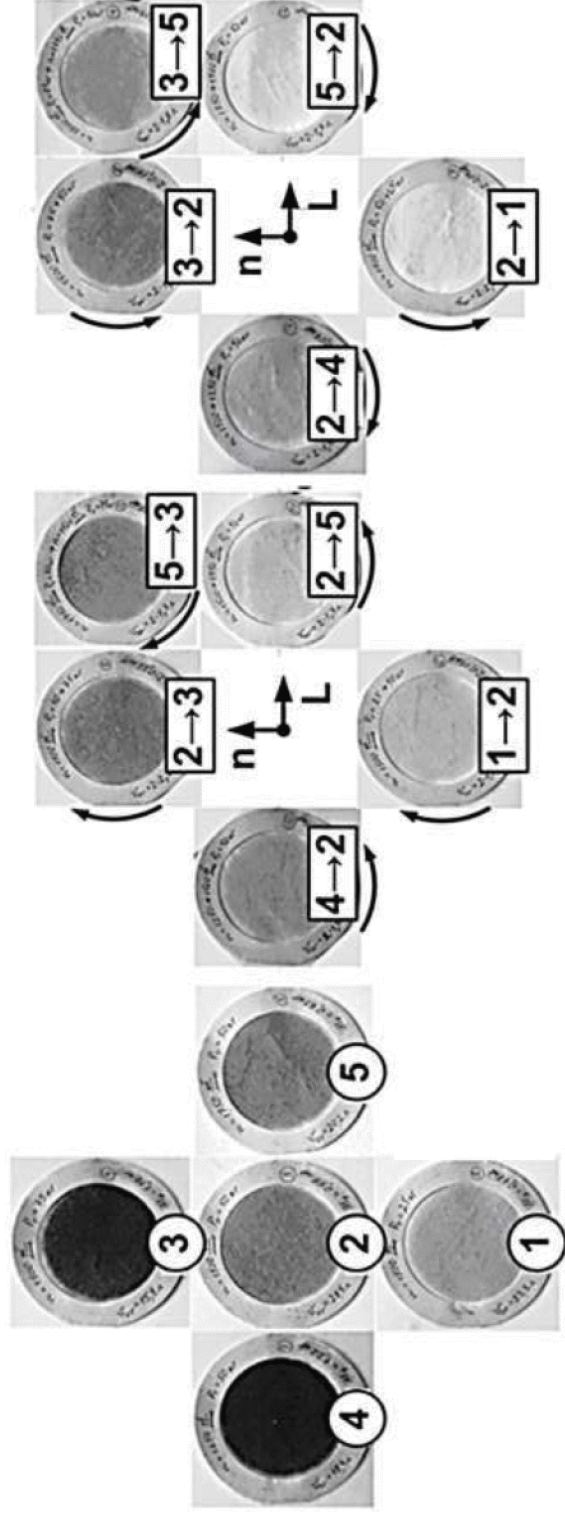
$$C_{pt}^{un} = C_{pt}^{st} + \Delta C_{pt}$$

- Steady-state test cycle modes A
- The main unsteady test modes of cycle B
- - - Control unsteady test modes of cycle B
- ⋯ Unstable test mode of cycle C

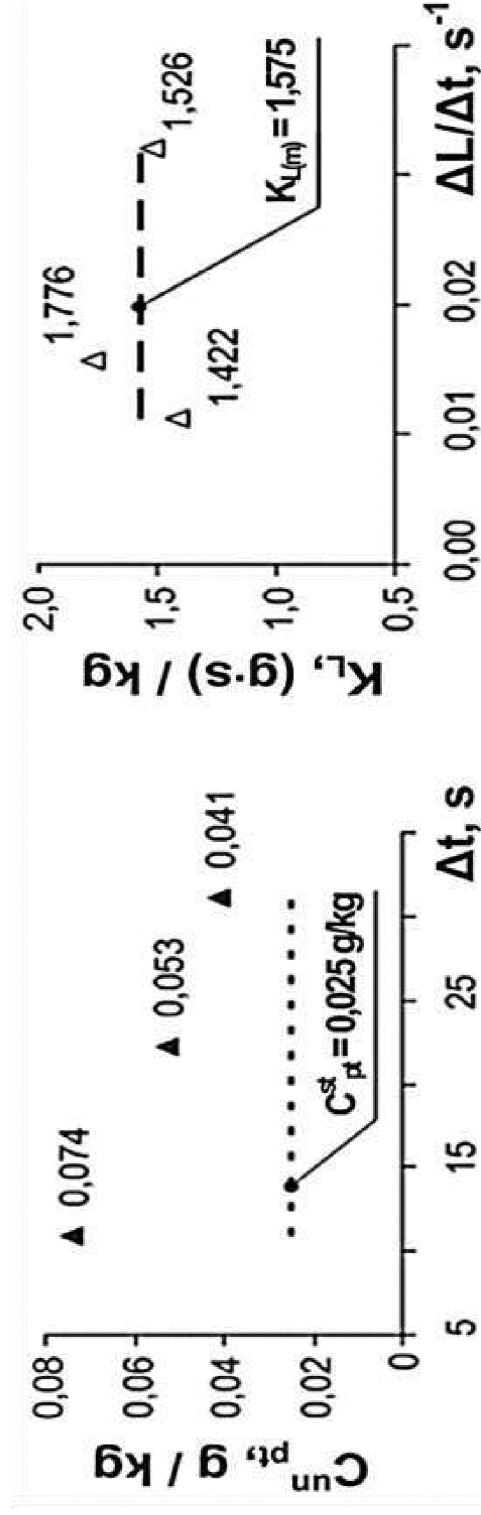
Визначення прирісту концентрацій ТЧ

$$\Delta C_{pt} = K_n \left(\frac{\Delta \bar{n}}{\Delta t} \right) + K_L \left(\frac{\Delta \bar{L}}{\Delta t} \right)$$

Фото робочих фільтрів при виконанні випробувальних циклів А і В



Результати математичного моделювання впливу несталих режимів випробувань на концентрації ТЧ



$$C_{pt}^{in} = C_{pt}^{st} + 0,96 \cdot \left(\frac{\Delta \bar{n}_+}{\Delta t} \right) + 1,575 \cdot \left(\frac{\Delta \bar{L}_+}{\Delta t} \right)$$

Де Δn_+ ΔL_+ – ПОЗИТИВНІ значення швидкостей змінювань у часі величин n і L .

Результати досліджень концентрації c^{st}_{pt} в ході виконання циклу А

Режи М	Параметри режиму					Результати вимірювань та розрахунків				
	n, XB^{-1} (\bar{n})	M_{kv} $H \cdot M$ (\bar{L})	$P_{e'}$ кВт	G_{exp} кг/год	q	T_{sam} С	G_{sam} г/С (m_{sam} г)	m_f мг	c^{st}_{pt} г/кг	
1	1500 (0,6)	175,7 (0,3)	27,6	403,6	7,13	271,1	0,73 (199,2)	0,47	0,020	
2	1500 (0,6)	351,4 (0,65)	55,2	423,3	6,35	301,1	0,74 (220,5)	0,88	0,030	
3	1500 (0,6)	527,2 (1,0)	82,8	473,5	6,90	180,9	0,73 (131,9)	1,16	0,073	
4	1250 (0,4)	351,4 (0,65)	46,0	332,8	7,01	211,8	0,73 (155,1)	1,22	0,066	
5	1750 (0,8)	351,4 (0,65)	64,4	523,8	6,38	211,3	0,73 (154,5)	0,61	0,030	

Результати визначення коефіцієнтів K_n і K_L в ході виконання циклу В

Режим	Параметри несталих режимів				Результати вимірювань та розрахунків					
	$\Delta \bar{n}$	$\Delta \bar{L}$	$\Delta t = T_{sam}, C$	$P_{e'}$, кВт	G_{exp} , кг/год	q	C_{pt}^{un} (C_{pt}^{st}), г/кг	ΔC_{pt} (e _x), г/кг	K_n^{**} , (Г·С)/г	K_L^{**} , (Г·С)/кг
1→2	0	0,35	21,09	41,4	413,5	8,43	0,055 (0,025)	0,030	-	1,79
2→3			22,21	69,0	448,4	6,20	0,080 (0,052)	0,028		
3→2	0	-0,35	21,07	69,0	448,4	6,65	0,057 (0,052)	0,005	-	0,00
2→1			21,27	41,4	413,5	6,43	0,020 (0,025)	-0,005		
4→2	0,2	0	21,30	50,6	378,1	6,82	0,058 (0,048)	0,010	0,96	-
2→5			21,33	59,8	473,6	7,81	0,038 (0,030)	0,008		
5→2	-0,2	0	20,83	59,8	473,6	7,47	0,029 (0,030)	-0,001	0,26	-
2→4			21,11	50,6	378,1	9,83	0,054 (0,048)	0,006		
3→5	0,2	-0,35	20,69	73,6	498,7	7,10	0,064 (0,052)	0,012 0,009*	0,96	0
5→3	-0,2	0,35	20,11	73,6	498,7	7,48	0,079 (0,052)	0,027 0,031*	0	1,79

ВИСНОВКИ

1. РМ – друга за значимістю після азоту оксидів речовина, що міститься у відпрацьованих газах дизеля і являє собою полікомпонентне утворення з трьох основними компонентами: дизельною фракцією – РОФ та сульфатами, відносні частки яких залежать від режиму роботи дизеля і складають 33...90%, 7...49% та 1...4%, відповідно. Висока токсичність РМ обумовлена входженням до складу РОФ речовин з дратівливою, мутагенною та канцерогенною діями. Для визначення викидів РМ використовуються еталонні повнопоточні (вартісні та громіздкі) та частковопоточні (економічні та компактні) тунелі – системи розбавлення відпрацьованих газів дизеля атмосферним повітрям.
 2. На базі моторного стенду автотракторного дизеля 4СН12/14, оснащеного частково потоковою системою розбавлення ВГ повітрям – мікротунелем МКТ-2 проведено математичне моделювання впливу режимів роботи двигуна на вміст у ВГ небезпечної забруднюючої речовини – ТЧ. Досліджено вплив параметрів сталих режимів – числа обертів колінчастого валу – n і навантаження – L та параметрів несталих режимів – величин n , L і швидкостей їх змінювання у часі – $\Delta n/\Delta t$ і $\Delta L/\Delta t$ на масові і об'ємні концентрації – $c_{рт}$ і $C_{рт}$, масові – RT_{mass} і питомі – RT_{tr} викиди ТЧ. Контроль викидів ТЧ здійснювався гравіметричним методом у відповідності до вимог нормативних документів – стандарту ISO8178, Правил ЄЕК ООН R-49, R-96 та ін. з похибками $\pm 3 \dots 10$ %. Встановлені в ході досліджень математичні моделі складають основу економічного і зручного у експлуатації розрахункового методу контролю вмісту ТЧ у ВГ на сталих і несталих режимах роботи дизеля.
 3. В результаті досліджень концентрацій і викидів ТЧ на сталих режимах роботи дизеля обрано тип та встановлено коефіцієнти найбільш достовірної регресійної залежності – поліноміальної моделі 2-го порядку, яка дозволяє оцінювати величини $C_{рт}$, RT_{mass} і RT_{tr} в діапазонах варіювання параметрів n і L – 1000...2000 хв-1 і 25...100%. СКВ встановлених залежностей при визначенні вказаних величин є співставними з похибками мікротунеля МКТ-2 і складають $\pm 0,0042$ г/мнЗ, $\pm 2,02$ г/год, $\pm 0,077$ г/(кВт·год) або $\pm 11,3\%$, $\pm 8,1\%$ та $\pm 18,8\%$, відповідно. Зроблено рекомендації щодо використання отриманих регресійних залежностей при визначенні мінімальних тривалостей відбору проб ТЧ в розбавляючих тунелях, при яких забезпечується потрібна точність цих вимірювальних систем.
 4. Встановлено залежність для прямого визначення масових концентрацій ТЧ у ВГ на несталих режимах роботи дизеля, які характеризуються тривалістю 10...30 с та діапазонами варіювання параметрів n , L , $\Delta n/\Delta t$ і $\Delta L/\Delta t$, приведених до безрозмірної форми – $0,4 \dots 0,8$, $0,3 \dots 1,0$, $-0,2 \dots 0,2$ і $-0,35 \dots 0,35$, відповідно. Відхилення розрахункових і експериментальних даних при використанні цієї залежності складають $\pm 0,005 \dots 0,006$ г/кг, що є співставним з межею чутливості МКТ-2.
 5. За результатами контрольних експериментів 5–7 було визначено абсолютний $\Delta c_{рт}$, відносний $\delta c_{рт}$ та стандартні відхилення розрахункових значень $c_{рт}$ (отриманих за допомогою залежності (28)) від експериментальних даних – $\Delta c_{рт} = -0,005 \dots 0,007$ г/кг, $\delta c_{рт} = -9 \dots 13\%$, $\delta c_{рт} = \pm 0,006$ г/кг можна порівняти з характеристиками точності мікротунелів МКТ-2.
- Таким чином, результати експерименту показали задовільну точність і практичну придатність запропонованого авторами оптико-гравіметричного методу для прямого контролю вмісту ТЧ в ВГ дизелів в стаціонарних режимах варіювання параметрів n і L : $0,6 \dots 1,0$ і $0,25 \dots 1,0$ відповідно.

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності методу гравіметричного контролю
пильованих твердих частинок у відпрацьованих газах автомобілів в умовах
товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»

Тип роботи: Магістерська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

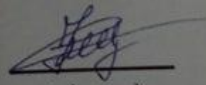
Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 89% Схожість 11%

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 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)

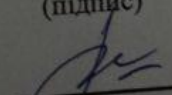
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

Фань Юнцань
(підпис)

Фань Юнцань
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Полив'янчук А.П.
(прізвище, ініціали)