На ІІ тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт

Спеціальність «Автомобільний транспорт»
(напрям «Екологічна безпека комплексу «автомобіль-навколишнє середовище»)

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

ПОЛІПШЕННЯ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НЕЙТРАЛІЗАТОРІВ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ АВТОМОБІЛІВ

Шифр роботи: НЕЙТРАЛІЗАТОР

2020

Анотація

Одним з ефективних методів забезпечення техногенної безпеки автомобільного транспорту є каталітична нейтралізація відпрацьованих газів двигунів.

Програма експериментальних досліджень передбачає проведення моторних і експлуатаційних випробувань на дослідному зразку каталітичного нейтралізатора.

Модель досліджуваного нейтралізатора має два паралельні канали із каталітичними блоками. При цьому забезпечується проходження відпрацьованих газів через кожний блок порівну з однаковими витратами й однаковим розподілом газів по перетині блоків

Досліджувалися очисні властивості каталітичного нейтралізатора, їх стабільність в експлуатаційних умовах, вплив нейтралізатора на газодинамічний опір системи випуску і на зовнішній шум автомобіля.

Результати експериментальних дослідження на моторному стенді та на автомобілі, який працював в реальних умовах експлуатації, показали зростання викидів шкідливих речовин внаслідок забруднення каналів каталітичних блоків сажею. Доведена необхідності проведення періодичних продувок каталітичних блоків. До нейтралізатора включено пристрій, який дозволяє проводити продувку окремих його секцій.

Встановлено, що зі збільшенням частоти продування зростає швидкість протікання окислювальних реакцій на поверхні активного шару каталітичного блоку, що дає можливість зберігати здатність ефективного очищення вихлопних газів після реалізації регламентного пробігу.

Пояснювальна записка складається з 30 сторінок, містить 16 ілюстрації, 7 таблиць, використано 13 літературних джерел.

Ключові слова: екологічнана безпека, навколишнє середовище, дизельний автомобіль, каталітичний нейтралізатор, відпрацьовані гази .

ЗМІСТ

ВСТУП 4

1. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ЕКОЛШЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТУ..... 6

2. СХЕМА ТА ПРИНЦИП ДІЇ ДОСЛІДНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА……... 9

3. МЕТОДОЛОГІЯ І МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ 11

3.1 Методологія проведення досліджень .....

3.2 Методика випробувань на автомобілі .....

3.3 Експериментальна установка. Методика проведення досліджень на моторному стенді 15

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... 17

4.1 Визначення концентрацій шкідливих речовин у різних умовах експерименту та ступеня очищення вихлопних газів……

4.2 Зміна величини коефіцієнта очистки в умовах експлуатації автомобіля…… 24

4.3 Визначення газодинамічного опору каталітичного блоку …… 27

ВИСНОВКИ..... 30

ЛІТЕРАТУРА..... 31

ВСТУП

Збільшення числа автомобілів, що знаходяться в експлуатації, погіршує стан довкілля, тому автомобільний транспорт виявився одним із основних джерел забруднення. Значна кількість автомобільного транспорту зосереджена у густонаселених районах міст і шкідливі речовини викидаються у при поверхневому прошарку атмосферного повітря, що ускладнює їхнє розсіювання. Особливу гостроту ця проблема набула в промислових містах, у яких додатково з автомобільним транспортом значна частка шкідливих викидів припадає на промислові підприємства.

Автомобільному транспорту належить значна частка в забрудненні атмосферного повітря оксидам вуглецю, азоту, вуглеводнями та сажею, які є одними з найбільш токсичних компонентів відпрацьованих газів (ВГ) автомобільних двигунів.

На долю автомобільного транспорту [1] в населених пунктах припадає від 30 до 60% всіх викидів оксидів вуглецю (*CO*) і до 12% всіх викидів оксидів азоту (NO_X). Всього у ВГ виявлено більш ніж 280 компонентів [2]. Проблема забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом ускладнюється тим, що шкідливі викиди не можуть бути виведені за межі зони дихання людини, як це можливо на промислових підприємствах шляхом застосування газоочисних і пиловловлюючих споруд та будівництва, високих димовідвідних труб. Продукти згоряння автомобільного палива накопичуються в приземному прошарку, поширюються по території населеного пункту і потрапляють безпосередньо в зону дихання людей.

Для покращення показників екологічної безпеки автомобільного транспорту, у тому числі автомобілів з дизелем, активно ведуться роботи в різних напрямках. [3]. Одним із найбільш ефективних методів є застосування в системі випуску ВГ каталітичних нейтралізаторів (КН) [4].

Обладнання автомобілів з дизелем КН дає змогу забезпечити такі їх характеристики по ВГ, які відповідають жорстким вимогам стандартів техногенної безпеки.

Мета дослідження: поліпшення стану екологічної безпеки автомобіля за рахунок підвищення ефективності роботи каталітичного нейтралізатора в експлуатаційних умовах.

Для досягнення вище вказаної мети вирішені наступні *задачі*:

1. Проаналізувати літературні джерела з метою визначення оптимальних методів зниження рівня екологічної небезпеки, що формується дизельними автомобілями.

2. Розробити методику експериментальних досліджень викидів ВГ;

3. Провести експериментальні дослідження на моторному стенді та в експлуатаційних умовах;

4. Провести аналіз показників екологічної безпеки автомобіля з дизелем, оснащеним каталітичним нейтралізатором;

Об'єктом дослідження є стан екологічної безпеки при експлуатації автомобіля з дизельним двигуном , обладнаним каталітичним нейтралізатором.

Предметом дослідження є вплив автомобіля с дизельним двигуном, оснащеним каталітичними нейтралізаторами, на людину та довкілля.

Наукова новизна одержаних результатів:

– науково обґрунтована та експериментально підтверджена доцільність проведення періодичних продувок каталітичних блоків нейтралізаторів відпрацьованих газів дизельних автомобілів з метою очищення каналів блоків від сажі, що дає можливість забезпечити здатність ефективного очищення після реалізації регламентного пробігу.

1. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТУ

Загальний стан екологічної безпеки є досить напруженим. Антропогенний вплив на довкілля, відсутність належної екологічної експертизи техногенних об'єктів, нестаток фахівців у галузі екологічної безпеки та інші чинники призвели до формування широкопрофільної екологічної небезпеки в окремих регіонах. Концептуальні засади управління екологічною безпекою закладено в роботах Шмандія В.М., Масленнікова І.В., Дорогунцова С.І. [5,6,7] та інших.

Покращення стану екологічної безпеки при експлуатації автомобіля є складною науково-технічною задачею, для вирішення якої необхідно враховувати вартість упровадження технічних рішень при забезпеченні високих екологічних, економічних, енергетичних і інших показників автомобіля з дизелем. Проблема ускладнюється ще й через те, що канали каталітичних блоків швидко забруднюються сажею. Основною причиною налипання сажі на каналах блоку є нерівномірність швидкості потоку ВГ по поперечному перетину [4]. Переважно на периферійній частині блоку швидкість потоку газів менша, ніж у центральній. Тому через певний час частки сажі забруднюють периферійні канали і увесь потік ВГ, проходячи через незабруднені канали, взаємодіє з меншим об'ємом каталізатора, що погіршує стан екологічної безпеки .

Вітчизняними та закордонними науковцями запропоновано значну кількість конструктивних рішень та експлуатаційних заходів, спрямованих на забезпечення необхідних показників екологічної безпеки автомобіля протягом якомога найбільшого терміну експлуатації. Розглянемо деякі з них.

У конструкції, що запропонована у [8], перехідний патрубок виконано у вигляді дифузора, конфігурація якого розраховується за спеціальною формулою і залежить від геометричних розмірів нейтралізатора, характеристик потоку ВГ, перепаду тиску на прошарку каталізатора. Аналогічну мету ставили перед собою розробники нейтралізатора [9], пропонуючи конструкцію вхідного дифузора, у якого поперечний перетин зростає.

Підвищення ефективності очищення в КН досягається шляхом рівномірного розподілу температури по довжині реактора за рахунок профілювання внутрішньої поверхні патрубків за встановленою залежністю [10].

З метою підвищення ефективності очищення ВГ в конструкції газоочисника [11] другий і третій реактори з каталізатором обладнані розподільними патрубками, вхідні перетини яких зміщені на деяку відстань від заднього краю попереднього реактора. Наявність розподільних патрубків з певними параметрами дозволяє, як вважають автори, підвищити ефективність роботи пристрою за рахунок пропорційного розподілу потоків ВГ.

В основі принципу дії розподільника потоку ВГ, встановленого в корпусі КН [12], покладено збереження постійної швидкості руху газів, отже, швидкісного напору по всій довжині реактора. Розроблена конструкція КН, яка забезпечує підвищення ефективності очищення ВГ і стабілізує викиди шкідливих речовин автомобіля з дизелем [13]. Ідея даної конструкції полягає в тому, що конструкційне забезпечено розподіл потоку ВГ, які рухаються окремими концентричними каналами через каталітичний блок.

Одночасно з вирівнюванням потоку по перетину каталітичного блоку створюються умови для його періодичної продувки безпосередньо ВГ, не знімаючи КН із автомобіля. При цьому для видалення сажі можливо створення напорів газів у 10-16 разів більших, ніж у типових конструкціях автомобільних КН із блоковим каталізатором. Встановлення всередині дифузора додаткового конуса та керованих заслінок дозволяє перекривати один із каналів для організації продувок із метою видалення часток сажі.

На рис. 1.1 наведена схема КН з встановленим одним додатковим конусом, який розподіляє потік ВГ порівну. В центральній частині встановлено заслінку, яка під час експлуатації автомобіля відкрита і всі канали каталітичного блоку працюють одночасно.

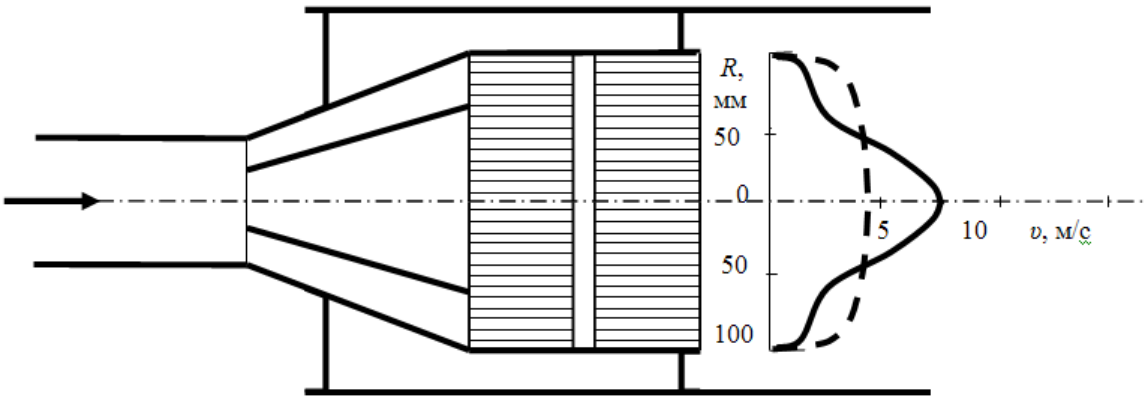


Рисунок. 1.1 – Схема нейтралізатора додаткового конусу

Для проведення продувок периферійної області блока заслінку закривають. Це спрямовує увесь потік ВГ в периферійну область блоку, що й забезпечує його продувку і очищення каналів від налиплої сажі за рахунок збільшення тиску газів, що підвищує стабільність екологічних характеристик.

В умовах експлуатації закриття заслінки можливо автоматизувати, встановивши в її привід блок керування, який автоматично змінює величину закриття заслінки від сигналу давача, який реагує на підвищення газодинамічного тиску в випускний системі автомобіля.

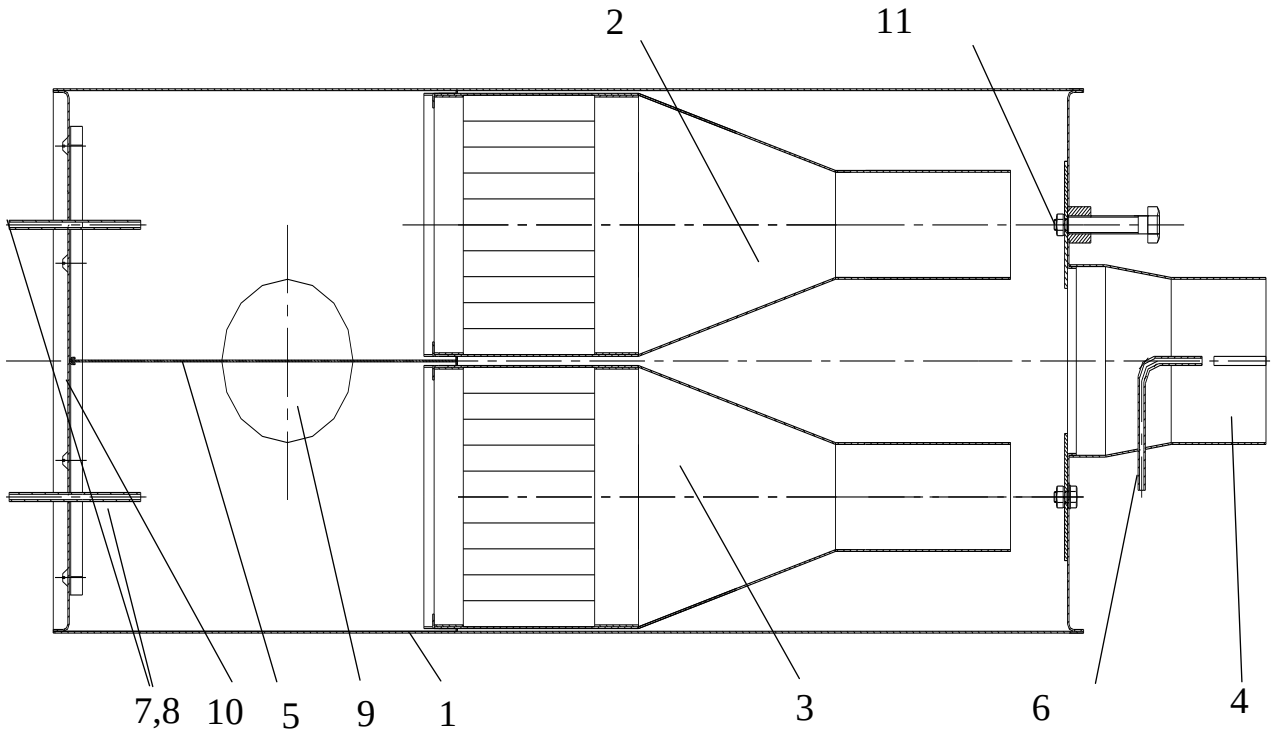
Для забезпечення екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря автотранспортними засобами необхідно знизити вміст оксидам вуглецю, азоту, вуглеводнями та сажею, які є одними з найбільш токсичних компонентів відпрацьованих газів (ВГ) автомобільних двигунів представлено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вміст основних шкідливих компонентів у відпрацьованих газах дизельних автотранспортних засобів

Позначення речовини	Вміст речовини	Одиниця виміру	Позначення речовини	Вміст речовини	Одиниця виміру
N_2	76 – 78	% об.	No_x	0,001 – 0,4	% об.
O_2	2 – 18	% об.	Альдегіди	0 – 0,05	% об.
H_2O	0,5 – 4,0	% об.	SO_2	0 – 0,03	% об.
CO_2	1,0 – 10,0	% об.	H_2S	0 – 0,015	мг/м^3
C_nH_m	0,01 – 0,5	% об.	Сажа (С)	0 – 2000	мг/м^3
CO	0,01 – 0,3	% об.	Бензапірен $C_{20}H_{12}$	0 – 0,01	мг/м^3

2. СХЕМА ТА ПРИНЦИП ДІЇ ДОСЛІДНОГО НЕЙТРАЛІЗАТОРА

З метою підтвердження вищенаведених положень для проведення експериментальних досліджень розроблено і виготовлено дослідний нейтралізатор, який представлено на рисунку 2.1. Усередині корпуса 1 якого встановлено паралельно два окремих КН 2 і 3. Геометричні параметри та точність виконання всіх елементів нейтралізатора забезпечує проходження ВГ через кожний каталітичний блок порівну з однаковими витратами й однаковим розподілом газів по перетину блоків КН

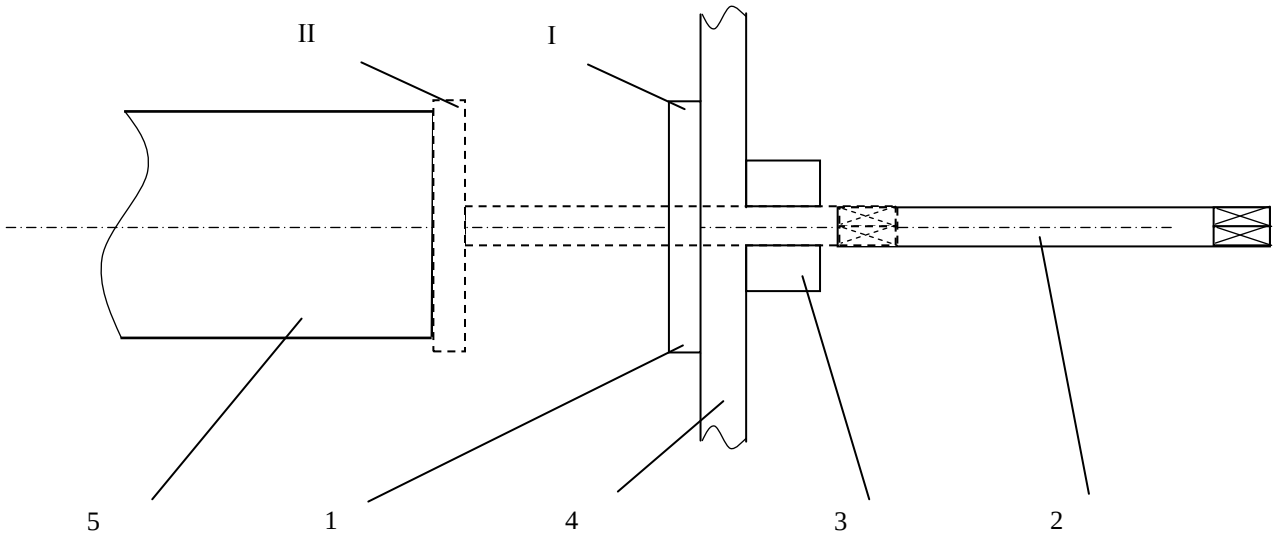


1– корпус;
2, 3 – паралельно встановлені КН;
4 – трубопровід підводу ВГ;
5 – перетинка;
6, 7, 8 – трубки для відбору газів;
9 – трубопровід відводу ВГ;
10 – задня стінка;
11 – пристрій для перекриття каналу.

Рисунок 2.1 – Конструктивна схема дослідного нейтралізатора

Вхід потоку ВГ здійснюється через трубопровід 4. У передній порожнині корпуса потік ВГ розподіляється порівну між окремими КН. У задній частині нейтралізатора розташована перетинка 5, завдяки якій обидва потоки ВГ після проходження через каталітичні блоки не перемішуються. Це необхідно для незалежного забору проб газів після їх очищення. Для забору проб газів у нейтралізаторі встановлено три трубки: одна на вході 6 і дві 7 і 8 на виході з кожного КН. Вихід потоку ВГ здійснюється через трубопровід 9. Задня кришка 10 виконана з'ємною для демонтажу каталітичних блоків та оцінки їх стану.

Нейтралізатор має пристрій 11, який дозволяє перекривати один із КН, що надає можливість періодично проводити продувку другого КН, моделюючи таким чином організацію продувок окремих секцій конструкції КН із додатковим конусом. Схема пристрою для перекриття каталітичного блоку представлена на рисунку 2.2. Кругла металева шайба 1, яка встановлена на гвинті 2. Повертаючи гвинт у гайці 3, що приварена до корпусу 4 нейтралізатора, шайба може займати два кінцевих положення.



1 – шайба; 2 – гвинт; 3 – гайка; 4 – корпус;
5 – вхідна труба КН.

Рисунок 2.2 – Схема пристрою для перекриття каталітичного блоку

3. МЕТОДОЛОГІЯ І МЕТОДИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Методологія проведення досліджень

Експериментальні дослідження стабільності викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами проводились на автомобілі-самоскиді КрАЗ-6510 з дизелем ЯМЗ-238М2, який був обладнаний нейтралізатором-глушником з блочними КН, встановленими паралельно. Випробування проводилися при повній масі автомобіля.

Досліджувалися викиди шкідливих речовин автомобіля при його обладнанні КН, їх стабільність в експлуатаційних умовах, вплив встановлення КН на газодинамічний опір системи випуску ВГ і на зовнішній шум автомобіля.

Для вирішення завдань щодо стабілізації викиду шкідливих речовин, збору інформації про надійність була розроблена програма і методика проведення експериментальних досліджень, яка передбачала наступні етапи:

1. Дослідження показників відпрацьованих газів на моторному стенді з двигуном ЯМЗ-238М2 і встановленим у випускній системі КН.

2. Експлуатаційні випробування на автомобілі для дослідження викидів відпрацьованих газів автомобіля, обладнаного нейтралізатором-глушником в реальних умовах експлуатації та їх стабільності.

3.2 Методика випробувань на автомобілі

Оцінка рівня екологічної небезпеки автомобіля проводилась на підставі результатів експлуатаційних випробувань, проведених в умовах реальної експлуатації автомобіля КрАЗ-6510.

Були проведенні експлуатаційні випробування з метою:

- оцінки викидів відпрацьованих газів автомобіля;
- визначення ступеня очищення ВГ автомобіля нейтралізатором;

– оцінки газодинамічного опору ΔP системи випуску ВГ автомобіля на характерних експлуатаційних режимах;

– визначення стабільності вищевказаних характеристик в процесі експлуатації автомобіля;

– визначення рівня зовнішнього шуму автомобіля при обладнанні його нейтралізатором-глушником даного типу, тому що автомобіль передбачалося експлуатувати в місті.

Нейтралізатор-глушник встановлювався в систему випуску ВГ замість серійного глушника шуму, що зображено на рисунку 3.1 та 3.2.

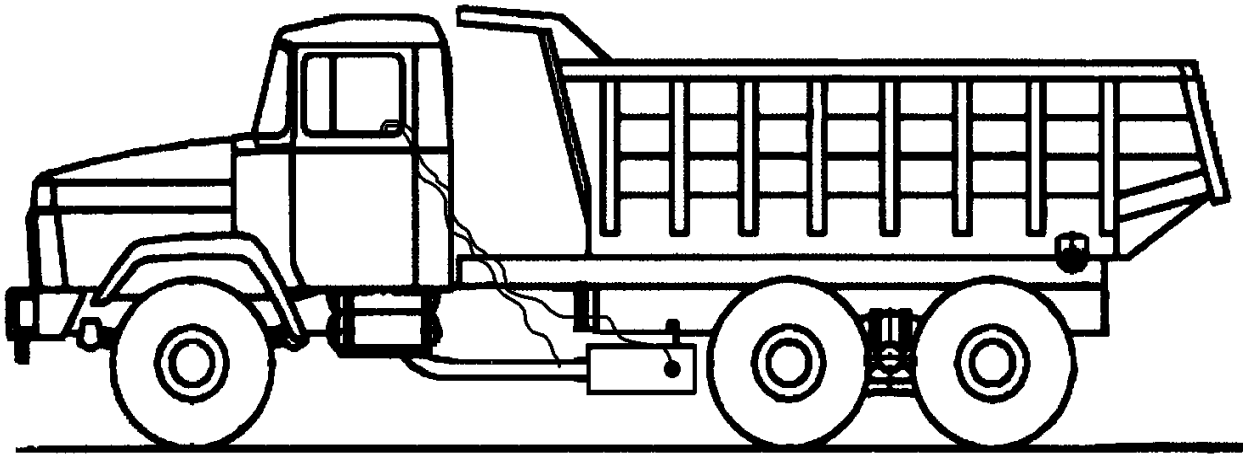
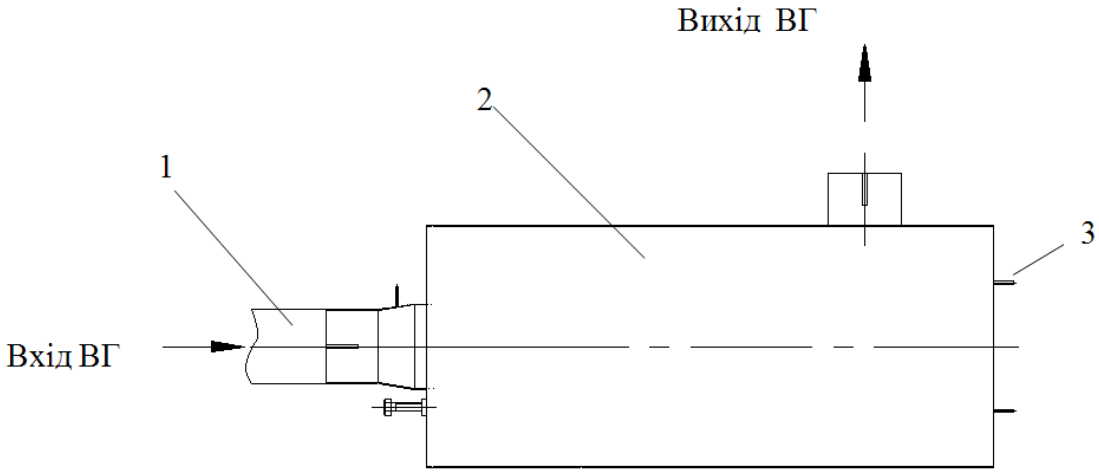


Рисунок 3.1 та 3.2 – Автомобіль, оснащений каталітичним нейтралізатором-глушником і трубопроводами для відбору проб ВГ.

Для отримання характеристик система випуску автомобіля КрАЗ-6510 була обладнана штуцерами для відбору проб ВГ і вимірювань газодинамічного опору ΔP ,схема якого представлено на рисунку 3.3.



1 – система випуску ВГ; 2 – нейтралізатор-глушник;

3 – штуцера для відбору проб ВГ і заміру газодинамічного опору.

Рисунок 3.3 – Схема системи випуску ВГ, обладнаної нейтралізатором-глушником і штуцерами для відбору проб ВГ і заміру газодинамічного опору.

Ємності для забору ВГ були розташовані в кабіні автомобіля, підготовленого для проведення експлуатаційних випробувань. Замір ВГ проводився тричі на повністю прогрітому і завантаженому автомобілі при русі на підйом з усіх трьох штуцерів.

На всі отримані дані була розрахована відносна похибка вимірювань Δ,% за формулою:

$$\Delta = K \cdot \sigma \cdot 100 \cdot \bar{q} \cdot \sqrt{n}\,, \tag{3.1}$$

де K – корегуючий коефіцієнт, який залежить від кількості замірів;

n – кількість замірів;

σ – стандартне відхилення, розраховуємо за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(q_i - \overline{q}\right)^2}{n-1}} \quad , \tag{3.2}$$

де $\overline{q}$ – середнє арифметичне значення;

q_i – значення *i*-го заміру.

Якщо відносна похибка вимірювань перевищує 3 %, то дослідження повторювалися.

Виміри шуму і концентрацій шкідливих речовин проводились при застосуванні шумоміру, v-подібного манометру та димомір ИНА-109. Рисунок 3.4 демонструє процес вимірювання.

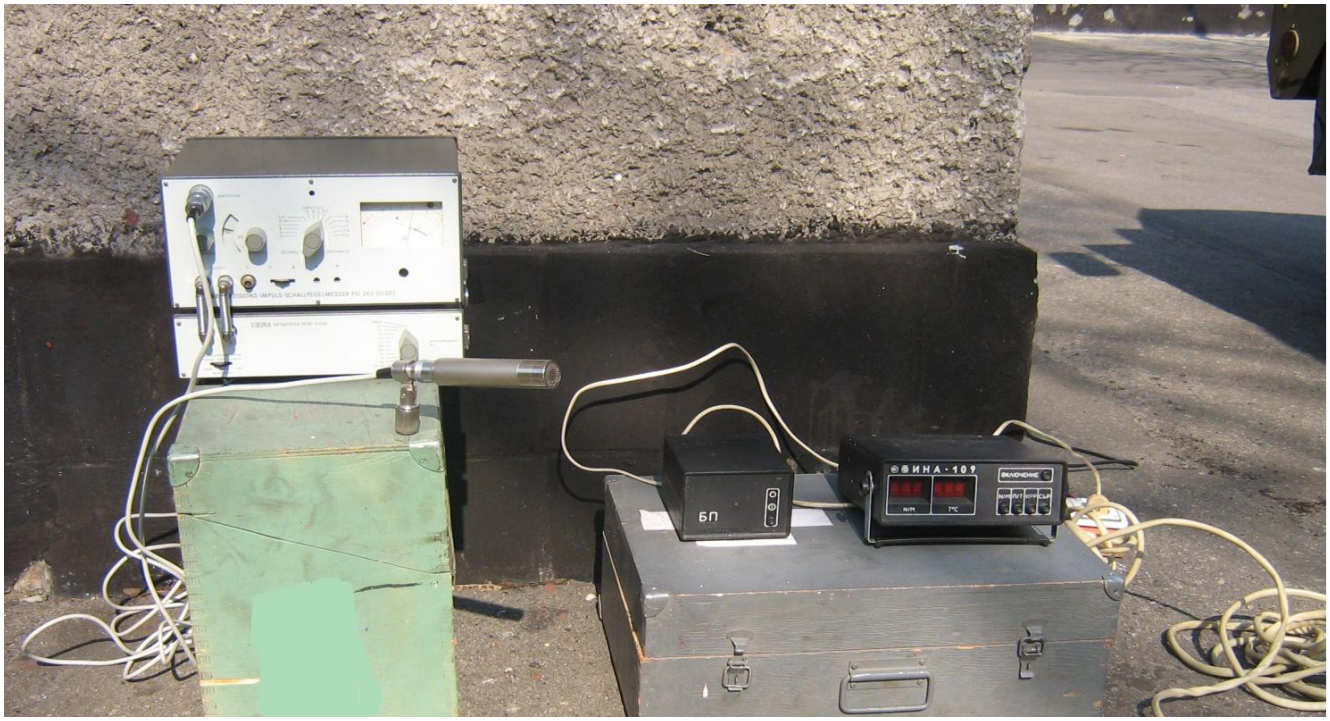
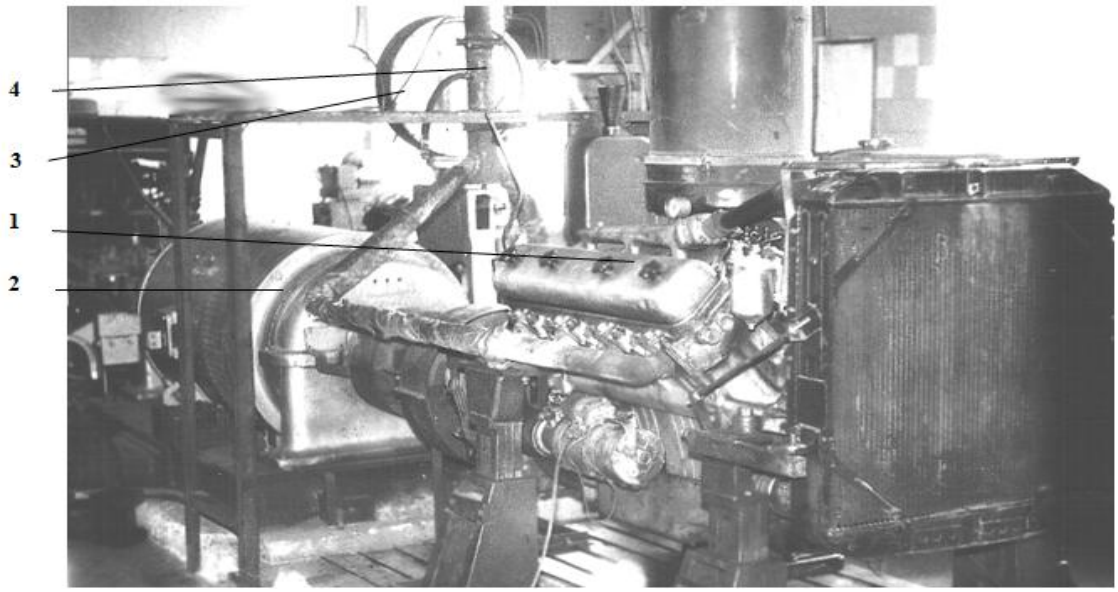


Рисунок 3.4 – Прилади для виміру шуму і концентрацій шкідливих речовин

3.3 Експериментальна установка. Методика проведення досліджень на моторному стенді

Дослідження рівня екологічної безпеки шляхом моделювання експлуатаційних режимів роботи автомобіля проводилися на моторному стенді кафедри «Автомобілі та трактори» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. На рисунку 3.5 наведено моторний стенд.



1 – двигун ЯМЗ-238М2; 2 – навантажувальний генератор;
3 – зважувальний механізм;
4 – трубопровід системи підводу ВГ з нейтралізатором-глушником.

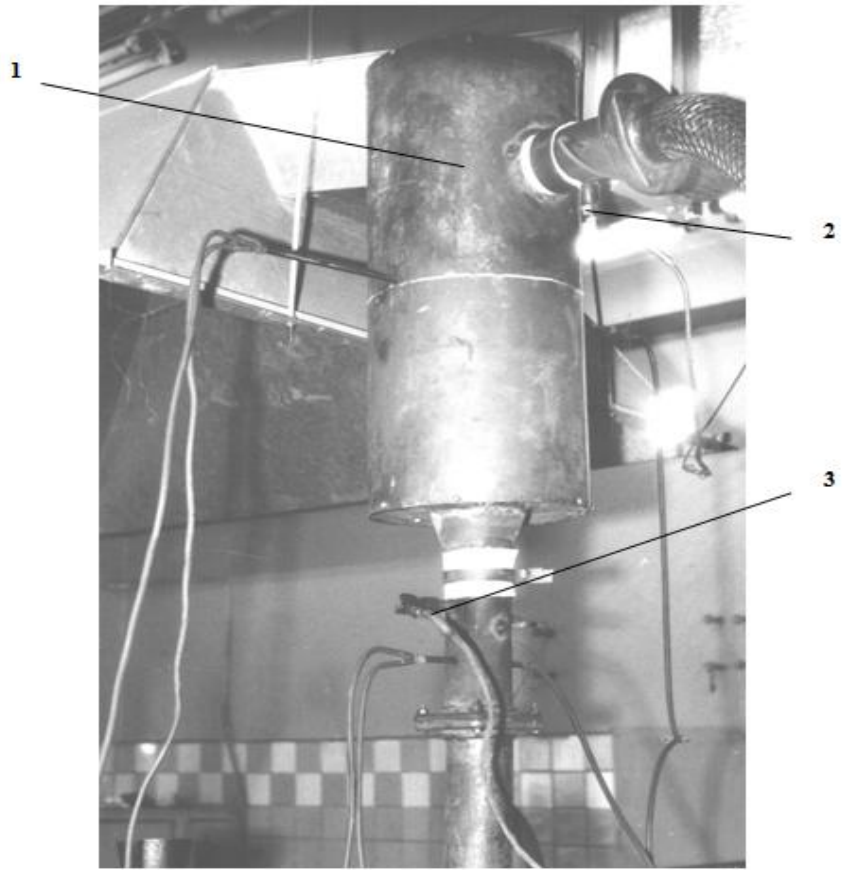
Рисунок 3.5 – Моторний стенд

Моторний стенд складається з двигуна 1, з'єднаного з навантажуючим генератором 2, засобів кріплення, систем комутації, управління і вимірів. Управління даним стендом проводиться за допомогою пульта.

На рамі стенда встановлений двигун ЯМЗ-238М2. В якості навантажуючого гальма застосований електричний генератор постійного струму типу МПБ - 42,3/30 з балансувальною установкою статора, який з'єднаний з

ваговим пристроєм 3 типи ЗКМ - 1 для вимірювання величини навантаження. Вал двигуна безпосередньо сполучений з валом навантажує генератора.

Нейтралізатор-глушник, що представлений на рисунку 3.6, встановлений в трубопровід системи випуску ВГ двигуна. Для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна використовувався індукційний датчик імпульсів, які реєструвалися цифровим тахометром ТЦ-5. Для вимірювання газодинамічного опору системи випуску ВГ, був встановлений диференційний U-подібний манометр, який з'єднаний трубками з штуцерами на нейтралізаторі-глушнику.



1 – нейтралізатор-глушник; 2, 3 – термопари;

Рисунок 3.6 – Установка датчиків в нейтралізаторі-глушнику на моторному стенді

Для вимірювання температури ВГ на вході в нейтралізатор-глушник і виході з нього встановлені хромель-алюмінієві термопари 2 і 3. В якості реєструю чого приладу використаний потенціометр КСП 4-067 УХЛ.

Оцінка очисних властивостей нейтралізатора проводилася за результатами аналізу проб ВГ на вміст шкідливих компонентів, взятих на вході в нейтралізатор і на виході з нього.

4. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення концентрацій шкідливих речовин у різних умовах експерименту та ступеня очищення вихлопних газів

За результатами досліджень, отриманих на автомобілі та моторному стенді, можна судити про ефективність застосування продувок. У порівнянні з серійним глушником, установка знизила димність на 13%. Шум на 1-2 *дБа* вище шумності серійного глушника, але знаходився в допустимих межах ГОСТ 27436-87.

Спочатку досліджень КН був встановлений на моторний стенд з метою визначення початкового значення ступеня очищення обох каталітичних блоків. Показники знімалися 5 разів при однаковому навантаженні на двигун N = 588,6 H і однакових обертах колінчастого вала n = 900 $хв^{-1}$. Значення знятих показників наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники по ВГ, отримані на моторному стенді на початку випробувань

№ заміру	Концентрації оксиду вуглецю у відпрацьованих газах						Температура ВГ до КН $T, {}^oC$	Ступень очищення, η, %	
	до КН		після КН						
			лівий		правий			лівий	правий
	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%			
1	68	0,054	43	0,034	55	0,044	200	33	33
2	68	0,054	41	0,033	50	0,04	203	34	30
3	69	0,055	48	0,038	54	0,043	206	33	31
4	69	0,055	49	0,039	55	0,044	209	32	30
5	70	0,056	51	0,041	57	0,046	210	32	31
Середнє значення ступеня очищення, $\eta_{ср}$								33	31

Примітка: $\Delta_л$ – відносна похибка вимірювань ступеня очищення лівого (що продувається) КН;

$\Delta_п$ – відносна похибка вимірювань ступеня очищення правого (що не продувається) КН.

Відносна похибка вимірювань: $\Delta_л$=1,47%, $\Delta_п$=2,21%.

Середнє значення ступеня очищення, $\eta_{ср}$ знаходиться за формулою:

$$\eta_{ср} = \frac{Свх \cdot Свих}{Свх} \cdot 100\%$$

де: $С_{вх}$- показники ВГ на вході;

$С_{вих}$- показники ВГ на виході.

На досліджені була використана індикаторна трубка, яка зображена на рисунку 4.1. Вона призначена для експрес-визначення вмісту газових компонентів у повітрі, концентраціями токсичних речовин (оксидів азоту, оксид вуглецю). Концентрацію визначають по довжині або інтенсивності фарбування шару наповнювача після пропускання через індикаторну трубку певного обсягу досліджуваного повітря.

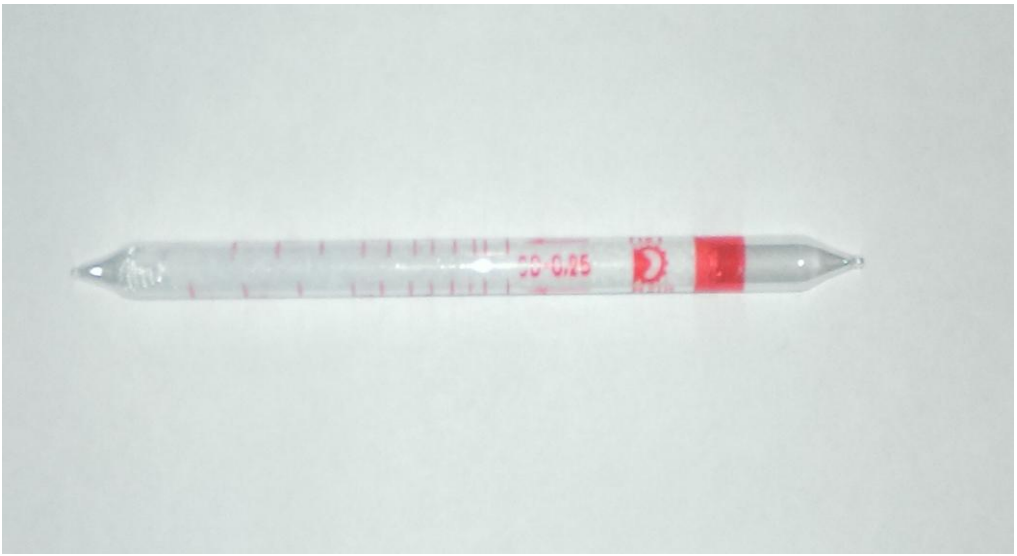


Рисунок 4.1 – Індикаторна трубка для визначення концентрації оксид вуглецю

Після досліджень на моторному стенді, нейтралізатор-глушник був встановлений на автомобіль КрАЗ-6510, що знаходиться в реальних умовах експлуатації транспортного цеху Кременчуцького колісного заводу. Для прискорення проведення експлуатаційних досліджень, автомобіль свідомо був підібраний з підвищеним вмістом сажі в ВГ. Забір проб газів проводився тричі на повністю прогрітому і завантаженому автомобілі при русі на один і той же підйом. Ємності для проб газів були розташовані в кабіні автомобіля і з'єднані з

штуцерами на нейтралізаторі-глушнику трьома гнучкими трубопроводами. Після забору проб ВГ була визначена ступінь очищення кожного блоку. Її значення наведені в таблиці 4.2. Ступінь очищення на автомобілі виявилася на 20% вище ніж на стенді. Це пояснюється більш високою температурою ВГ на автомобілі (300-350℃), ніж на стенді (200-210℃).

Таблиця 4.2 – Показники по ВГ, отримані на автомобілі на початку випробувань

№ заміру	Концентрація оксиду вуглецю відпрацьованих газів						Ступень очищення, η	
	до КН		після КН					
			лівий		правий			
	мг/м³	*%*	*мг/м³*	*%*	*мг/м³*	*%*	лівий	правий
1	150	0,12	62,5	0,05	68,1	0,055	50	55
2	151	0,121	87,5	0,07	75,2	0,06	49	52
3	153	0,122	78,3	0,063	70	0,056	48	53
Середнє значення ступеня очищення, $\eta_{ср}$							49	53

Відносна похибка вимірювань: $\Delta_л$=1,54%, $\Delta_п$=1,41%.

Приблизно в середині пробігу і в кінці експлуатаційних досліджень так само був проведений забір проб ВГ для визначення значення ступеня очищення каталітичних блоків. Після пробігу автомобілем близько 3000 км, ступінь очищення каталітичного блоку, що продувається знизилася на 35%, а той що не продувається на 90%. Данні наведено у таблиці 4.3 та рисунок 4.2.

Таблиця 4.3 – Показники по ВГ, отримані на автомобілі наприкінці випробувань

№ заміру	Концентрацій оксиду вуглецю відпрацьованих газів						Ступень очищення, η	
	до КН		після КН.					
			лівий		правий			
	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%	лівий	правий
1	44	0,035	31	0,025	39	0,031	31	10
2	40	0,032	25	0,02	38	0,03	33	8
3	41	0,033	25	0,02	38	0,03	32	9
Середнє значення ступеня очищення, $\eta_{ср}$							32	9

Відносна похибка вимірювань: $\Delta_л$=1,03%, $\Delta_п$=2,89%.

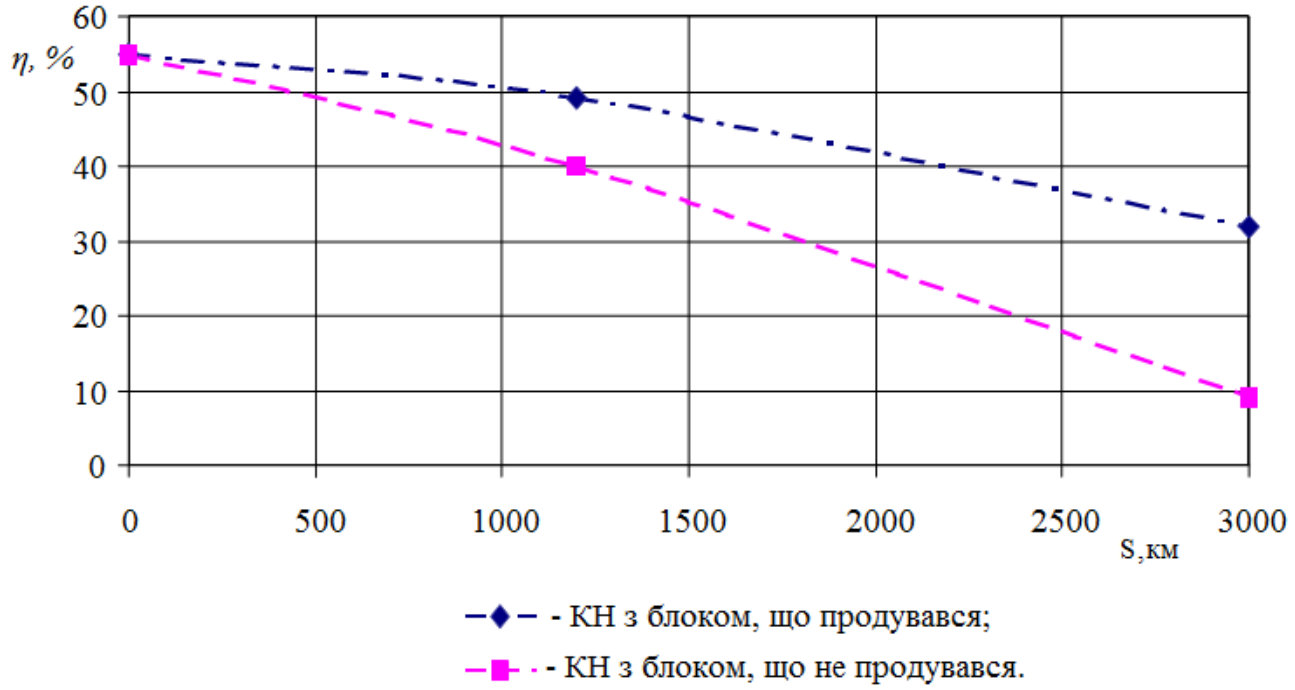


Рисунок 4.2 – Зміна ступеня очищення ВГ КН від пробігу автомобіля

Протягом всього часу експлуатаційних досліджень наприкінці кожного робочого дня робили продувку, перекриваючи заслінку на КН, що змушувало увесь потік ВГ проходити через один блок. Після чого двигун короткочасно переводили на режим максимальної частоти обертання. Після проведення продувок заслінку повертали у вихідне положення.

Для більшої достовірності результатів, отриманих в експлуатації, наприкінці досліджень проводилися випробування на моторному стенді, які підтвердили нездатність каталітичного блоку очищати ВГ, який не продувається. Показники ступеня очищення на стенді в 1,6 рази нижче, отриманих на автомобілі, що пояснюється більш низькою (на 100-150ºС) температурою ВГ, ніж на автомобілі. Данні наведено у таблиці 4.4 та рисунок 4.3.

Таблиця 4.4 – Показники відпрацьованих газів, отримані на моторному стенді наприкінці випробувань

№ заміру	Концентрацій оксиду вуглецю відпрацьованих газів						Температура ВГ до КН $T, {}^oC$	Ступень очищення, η	
	до КН		після КН.					лівий	правий
			Лівий		Правий				
	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%	$мг/м^3$	%			
1	68	0,054	55	0,044	66	0,053	201	19	3
2	68	0,054	55	0,044	66	0,053	204	19	3
3	69	0,055	54	0,043	67	0,054	208	21	4
4	69	0,055	55	0,044	66	0,053	209	20	5
5	70	0,056	56	0,046	68	0,054	213	21	4
Середнє значення ступеня очищення, $\eta_{ср}$								20	4

На стенді на початку і в кінці досліджень, так само, фіксувався газодинамічний опір нейтралізатора $P_н$. До випробувань він був у 2 рази менше опору серійного глушника $P_г$. Після випробувань загальний опір H нейтралізатора-глушника виріс в 1,5 рази.

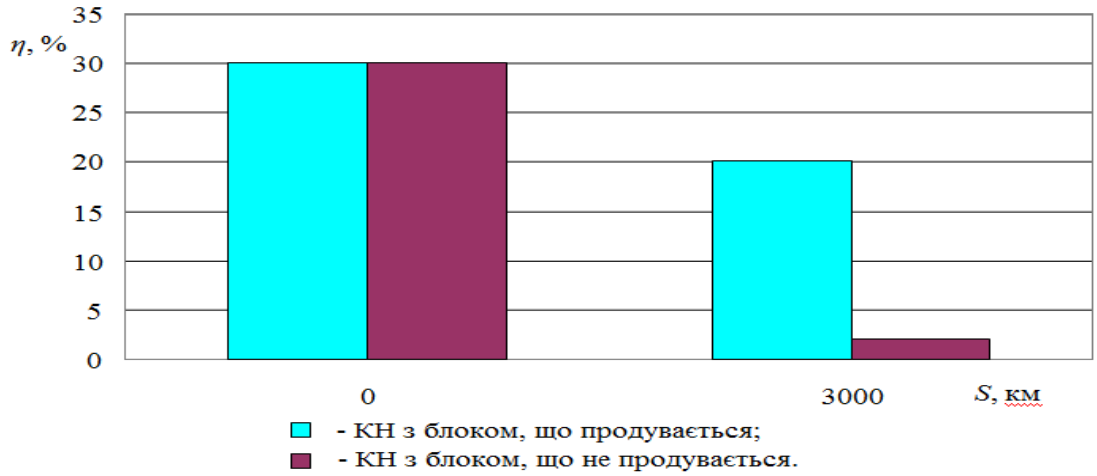
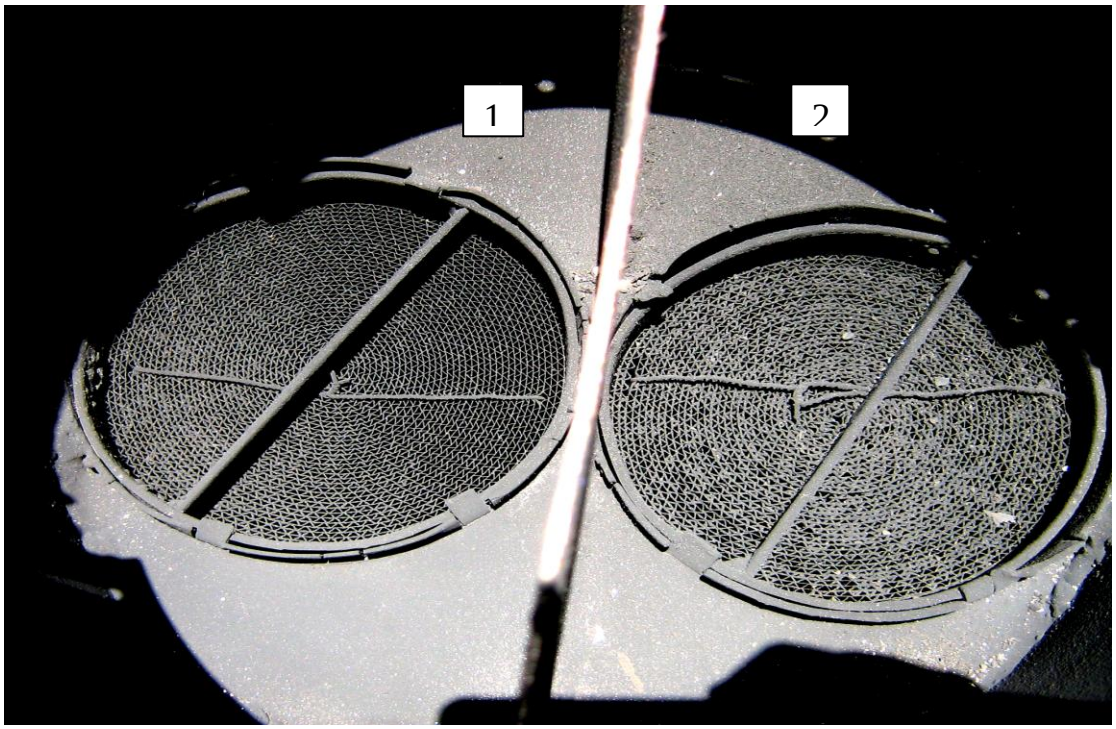


Рисунок 4.3 – Зміна ступеня очищення КН від пробігу автомобіля

Стан каталітичних блоків дає візуальне підтвердження ефективності проведення продувок, що підтверджується на рисунках 4.4 та 4.5.



1-блок,у якому здійснювали продувку;

2-блок,у якому продувку не проводили;

Рисунок 4.4 – Фотографія нейтралізатора після його розбирання.

Блок, що знаходиться праворуч, не продувався. Значна частина його каналів знаходиться під шаром сажі. Інший блок, завдяки продувкам, майже незабруднений. Вигляд блоків дає пояснення щодо отриманих результатів. Завдяки перекриванню одного каналу весь потік ВГ із подвійною швидкістю

проходить скрізь канали іншого блоку. Збільшений вчетверо газодинамічний напір змушує відриватися більшості налиплих часток сажі з поверхні каналів блоку КН. Однак частки сажі розміром менше за 5-6 нм залишаються у порах носія каталітично активної речовини. Це й пояснює зменшення активності також і блоку, який продувався.

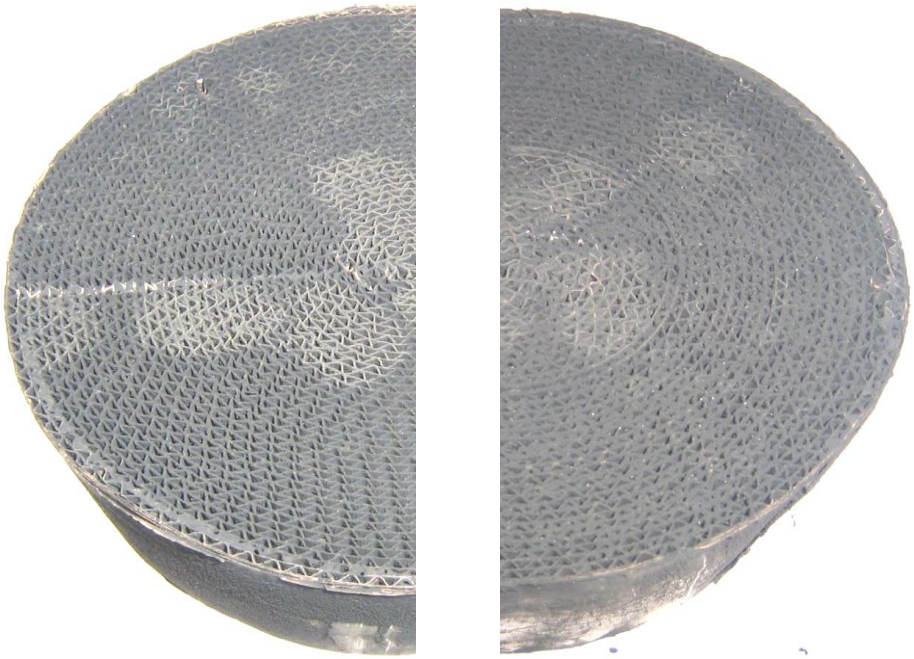


Рисунок 4.5 – Зовнішній вигляд каталітичних блоків після проведених дослідів

Таким чином, обидва каталітичні блоки знаходились в однакових умовах експлуатації, але один блок періодично продувався потоком ВГ, завдяки чому він очищувався від сажі, а в іншому блоку накопичувалася сажа.

В даний час у європейських країнах нормування викидів автотранспортних засобів (АТЗ) здійснюється згідно з правилами ЄЕК ООН та директивами ЄС. В таблиці 4.5 наведені стандартні норми Євро показників. Проаналізувавши вміст шкідливих речовин ВГ ми впевнились, що даний автомобіль відповідає вимогам норм Євро - 2. Європейські стандарти відіграють важливу роль у зниженні так званих регульованих речовин. До них відносяться оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NOx), вуглеводні (CH) і тверді частинки (сажа) – розміром до10 мкм (PM10).

Нормативний документ	Рік уведення	Норми викидів, $\frac{г}{кВт*год}$			
		CO	CnHm	NOx	ТЧ
Правила ЄЕК ООН R 49	1989	14,0	3,5	18,0	-
Правила ЄЕК ООН R 49	1991	11,2	2,4	14,4	-
Правила ЄЕК ООН R 49-02 A (EURO-1)	1993	4,5	1,1	8,0	0,36
Правила ЄЕК ООН R 49-02 B (EURO-2)	1997	4,0	1,1	7,0	0,15
EURO-3	2000	2,0	0,6	4,5	0,10
EURO-4	2005	1,5	0,5	3,5	0,08
EURO-5	2008	1,0	0,5	2,0	0,05

Таблиця 4.5 – Норми токсичних викидів з відпрацьованими газами дизелів серійних автотранспортних засобів повною масою більше 3,5 т

4.2 Зміна величини коефіцієнта очистки в умовах експлуатації автомобіля

Покращити рівень екологічної безпеки автомобіля установивши в систему випуску ВГ каталітичного нейтралізатора можливо значно покращити. Зразки КН, що досліджувалися, мали ступінь очищення по *CO* в межах 80-90 %. На автомобіль можна встановити КН, що має майже стовідсоткову ступінь очищення, тобто, на виході із системи випуску ВГ взагалі не буде *i*-го компонента. Це так званий «умовно ідеальний нейтралізатор». Однак, ефективність нейтралізатора залежить від кількості дорогого каталізатора, і вартість такого КН виявиться настільки високою, що економічного ефекту від впровадження подібних технічних рішень не буде.

Тому, при оснащенні автомобіля КН потрібно спочатку визначити необхідність його установки, а потім – його необхідні характеристики. При установці в систему випуску ВГ нового КН автомобіль має питомі викиди шкідливих речовин по *i*-му компоненті $g_{i_{нов}}$ менші ніж вихідні викиди двигуна

$g_{i_{дв}}$ в таку кількість разів, що обумовлена коефіцієнтом очищення КН, який визначається за формулою:

$$K_i = \frac{g_{i_{дв}}}{g_{i_{нов}}}.$$

У тому випадку, якщо установка КН обумовлена виконанням вимог НТД по викидах $g_{i_н}$ i-го компоненту, необхідний коефіцієнт очищення КН визначається виразом:

$$K_{i_{тр}} = \frac{g_{i_{дв}}}{g_{i_н}}.$$

Якщо дотримується співвідношення $g_{i_{дв}} < g_{i_н}$ по всім нормованим компонентах ВГ , і в процесі експлуатації автомобіля між технічними обслуговуваннями ця умова не порушується, то необхідності встановленні нейтралізатора немає. В залежності від того, по яким компонентам не виконуються вимоги стандартів, вибирається тип каталізатора: окислювальний або відновлюючий.

У процесі експлуатації автомобіля відбувається погіршення очисних властивостей КН, що частково відновлюються при ТО проведенням регенерації каталітичного блока. Рівень зменшення очисних властивостей КН між послідовними регенераціями можливо врахувати коефіцієнтом K_{i_S}:

$$K_{i_S} = \frac{K_{i_n}}{K_{i_к}} \ ,$$

де K_{i_n} - коефіцієнт очищення нейтралізатора на початку міжрегенераційного періоду $\Delta S_Р$;

$K_{i_к}$ - коефіцієнт очищення нейтралізатора наприкінці міжрегенераційного періоду $\Delta S_Р$.

Рівень зменшення очисних властивостей КН можливо визначити через параметр стабільності λ_{cm} та пробіг автомобілі до ТО ΔS_{TO}

$$K_{i_S} = 1 + \frac{\lambda_{cm} \cdot \Delta S_{TO}}{g_{i_n}}$$

Регенерація каталізатора при проведенні ТО не дозволяє цілком відновити початкові очисні властивості каталізатора. Тому значення коефіцієнта очищення каталізатора після першої регенерації виявляється меншим, ніж у нового КН, а після кожної наступної регенерації - меншим, ніж після попередньої.

У розрахунках можна прийняти припущення, що коефіцієнт очищення $K_{i_{n_j}}$ КН після j-ї регенерації в порівнянні з коефіцієнтом очищення $K_{i_{nj-1}}$ після попередньої j-1 регенерації зменшується в одну і таку ж кількість разів, яке враховується коефіцієнтом K_{ip} , що зображено на рисунку 4.6 , тобто

$$K_{ip} = \frac{K_{i_{n\,j-1}}}{K_{i_{nj}}} = Const.$$

Кількість регенерації визначається допустимою межею зменшення коефіцієнта очищення, коли експлуатація КН стає неприпустимою в результаті можливого руйнування каталітичного блока, або економічно і технічно недоцільною, оскільки збільшення числа регенерації неминуче приведе до збільшення необхідного коефіцієнта очищення, тобто збільшенню габаритів, маси і вартості нового КН.

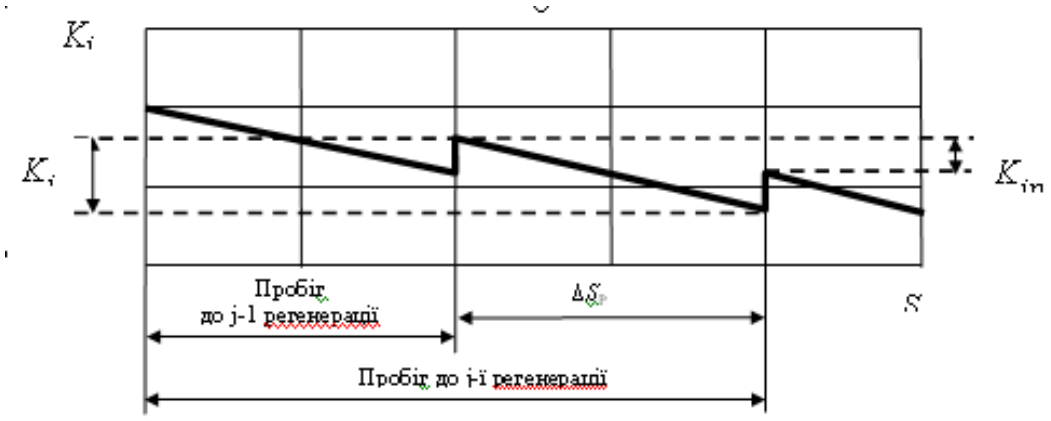


Рисунок 4.6 – Залежність ефективності роботи КН в часі при періодичній регенерації.

Таким чином, необхідний коефіцієнт очищення $K_{i_{mp}}$ повинний враховувати допустимі стандартом норми викидів по i-му компонент $g_{i_{cm}}$, погіршення екологічних показників за період експлуатації автомобіля між ТО коефіцієнтом K_{i_S}, а також погіршення очисних властивостей КН після кожного наступного його ТО (регенерації) у порівнянні з попереднім коефіцієнтом K_{ip}. Ця залежність розраховується за формулою:

$$K_{i_{mp}} = \frac{g_{i_{дв}}}{g_{i_н}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda_{cm} \cdot \Delta S_{TO}}{g_{i_n}}\right) \cdot K_{ip}^{m},$$

де m - допустиме число регенерацій.

Вирішуючи задачу таким методом, можна підібрати або оформити замовлення на виготовлення нейтралізатора з мінімальним, але достатнім об'ємом каталізатора, що дозволить зменшити витрати на обладнання ним автомобіля.

В умовах експлуатації може вирішуватися і інша задача. Автомобіль обладнується КН, що забезпечує автомобілю більш високі екологічні показники. У цьому випадку визначається запас за екологічними показниками автомобіля, що визначає допустимість погіршення екологічних характеристик в експлуатації. Цей показник порівнюється з показником стабільності, а знаючи залежність зміни екологічних характеристик від пробігу, визначається допустимий пробіг автомобіля.

4.3 Визначення газодинамічного опору каталітичного блоку

Програмою досліджень передбачалось вимірювання газодинамічного опору нейтралізатора у цілому і кожного каталітичного блоку окремо на початку та наприкінці експлуатаційного пробігу.

Оскільки вимірювання газодинамічного опору блоку, що не продувався, має технічні труднощі, оцінка цього параметру проводилася аналітичним методом, в основу якого покладені основні рівняння газодинаміки паралельних труб [11].

Рівняння зв'язку втрат напору Δp із газодинамічним опором трубопроводу S і витратою ВГ Q:

$$\Delta p = S \cdot Q^2 .$$

Витрата ВГ:

$$Q = П \cdot \sqrt{\Delta p} ,$$

де $П$ – провідність труби.

Провідність труби визначається за формулою:

$$П = \frac{1}{\sqrt{S}} .$$

Витрата ВГ при паралельному розташуванні труб

$$Q = \sum Q_i = \sum П_i \cdot \sqrt{\Delta p} = \left(П_1 + П_2\right) \cdot \sqrt{\Delta p} .$$

При перекритті однієї труби витрата ВГ, що проходять через іншу трубу:

$$Q_1 = Q = П_1 \cdot \sqrt{\Delta p_1} , \qquad \text{або} \qquad Q_2 = Q = П_2 \cdot \sqrt{\Delta p_2} .$$

Індекси відповідають номерам труб.

При спільному розв'язанні рівняння отримаємо:

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta p}{\left(1 - \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_1}}\right)^2} .$$

На підставі теоретичних досліджень газодинаміки паралельних труб була виведена формула , розрахована і побудована крива.

На стенді був заміряний загальний газодинамічний опір і опір продувного каналу при закритій заслінці.

Вимірювання газодинамічного опору каталітичного блоку, що продувався, та нейтралізатора у цілому проводилися на режимах холостого ходу.

Результати вимірювання порівняно з початковим опором усього КН, який продувався, а також розрахункова крива за допомогою формули КН, який не продувався, наведені на рисунку 4.7. та таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Зміна газодинамічного опору за час досліджень

Показники газодинамічного опору на автомобілі				
Частота обертання колінчатого валу n, $хв^{-1}$	Всього КН ΔH, *мм.вод.ст.*		Блок що продувається КН ΔH_1, *мм.вод.ст.*	Блок що непродувається КН ΔH_2 *мм.вод.ст.*
	до випробувань	після випробувань	після випробувань	
900	73	120	280	1006
1000	95	150	330	1413
1100	110	175	410	1456
1200	130	205	480	1708
1300	145	230	560	1783

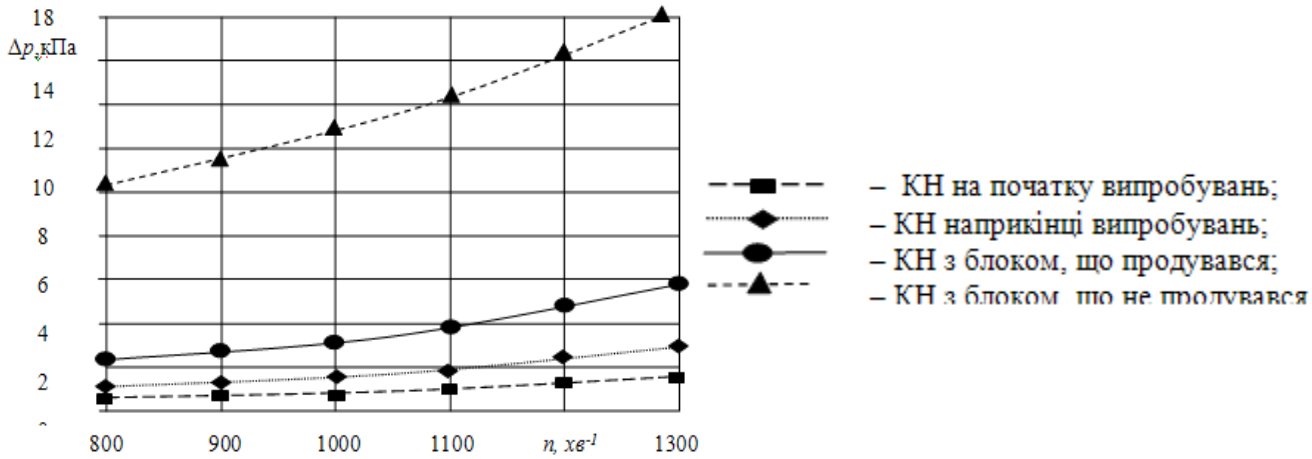


Рисунок 4.7 – Порівняльні характеристики газодинамічного опору

Після демонтажу і розбирання дослідного зразка в кінці випробувань з'ясувалося, що причиною зниження ступеня очищення та підвищення газодинамічного опору виявилася сажа, яка налипла на каталітичний блок, що не продувається. У той же час блок, що продувається, візуально був чистим, що підтверджує рисунок 4.4 та. 4.5.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що одним з оптимальних методів забезпечення стану екологічної безпеки є нейтралізація відпрацьованих газів автомобільних двигунів, серед яких найбільш розповсюдженою і ефективнішою є каталітична.

2. Доведено, що обладнання дизельних автомобілів каталітичним нейтралізатором дає змогу забезпечити норми викидів відпрацьованих газів, які відповідають вимогам стандартів техногенної безпеки. Усі отриманні результати звірені з нормами ДСТУ4276:2004.

3. Експериментальні дослідження на моторному стенді та на автомобілі, який працював в реальних умовах експлуатації, підтвердили, що у дизельних автомобілів концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах підвищуються внаслідок забруднення каналів каталітичних блоків сажею.

4. Встановлено, що зі збільшенням частоти продування зростає швидкість протікання окислювальних реакцій на поверхні активного шару каталітичного блоку, що дає можливість після пройденого пробігу зберігати здатність очищення ВГ на виході з КН.

ЛІТЕРАТУРА

1. Харламова О.В. Управління екологічною безпекою на основі чинників соціогенного та техногенного характеру . – Дис. канд. техн. наук, Київ, 2013. – 183с.

2. Жегалин О.И. Снижение токсичности автомобильных двигателей. / О.И. Жегалин, П.Д. Лупачев – М.: Транспорт, 1985. – 120 с.

3. В. В. Амбарцумян, В.Б. Носов, В. И. Тагасов. Экологическаябезопасность автомобильного транспорта. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 1999

4. Шапко С.В. Підвищення стабільності екологічних показників дизельного автомобіля, обладнаного каталітичним нейтралізатором. – Дис. канд. техн. наук, Львів, 2004. – 154 с.

5. Шмандий В.М. Управление экологической безопасностью на региональном уровне (теоретические и практические аспекты): дис... доктора техн. наук. : 21.06.01. – Харков., 2003. – 356 с.

6. Масленникова И.В. Управление экологической безопасностью.– С.-Петербург: Из-во гос. университета, 2001. – 130 с.

7. Дорогунцов С.И., Ральчук А.Н. Управление техногенно-екологической безопасностью в контексте парадигмы устойчивого развития: концепция системно-динамического решения. – К.: Наукова думка, 2002. – 200

8. Заявка № 0318413 ЕПВ, МКИ F 01 N 3/28. Diffuser for catalytic conversion system / Presz Walter Michael, Peterson Robert William (US); United technologies corporation. Заявл. 23.11.87. Опубл. 31.05.89.

9. А.с. 553346 СССР, МКИ F 01 N 3/15. Нейтрализатор выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания/ С.А.Белый, В.М.Фомин (СССР).-№ 2143740/06; Заявлено 12.06.75; Опубл. 05.04., Бюл. № 13.-3с.

10. C. Keith, P. Kenah and D. Bair. A catalyst for oxidation of automobile and industrial fumes. US Pat. 3.565.830

11. А.с. 1483064 СССР, МКИ F 01 N 3/28. Каталитический нейтрализатор/ В.Д.Евдокимов, И.Л.Каганович, С.П.Моисеев и Ю.В.Пичугов (СССР). - № 4343244/25-06; Заявлено 30.12.87; Опубл. 30.05.89, Бюл. № 20.-6с.

12. Пат. 38022А Україна, МПК 7 F01N3/1 / Каталітичний нейтралізатор відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння / В.Ф.Шапко, С.В.Шапко (Україна).-№ 2000052815. Заявл. 17.05.2000; Опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4.- 4 с.

13. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. - М.: Стройиздат, 1987. – 340 с.