

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

УДК 53.072.127

МАЙСТРЕНКО ВАЛЕНТИН ВАЛЕНТИНОВИЧ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ЗМЕНШЕННЯ ВМІСТУ САЖІ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступені магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ В. В. Майстренко

Керівник роботи

Ільченко А.В.,
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Майстренко Валентин Валентинович. Зменшення вмісту частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля сільськогосподарського призначення – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В роботі проведено аналіз відомих процесів та пристроїв зменшення вмісту сажі у відпрацьованих газах дизелів, розглянуто фізичний процес очищення та характеристики розповсюджених фільтрів частинок сажі.

Розглянуто пристроїв очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі різної фізичної дії: з сепаруванням, допалюванням, з використанням електричного струму. Описано процес регенерації фільтрів відпрацьованих газів дизелів. Показано, що дизель сільськогосподарського призначення краще підходить для використання певних типів фільтрів сажі, оскільки відносно тривалий час працює на стаціонарних режимах навантаження та швидкісних.

Запропоновано удосконалення фільтра сажі дизеля зміною температури частинок сажі перед фільтрувальним елементом, що покращує процес осаджування частинок сажі на ньому і таким чином зменшує вміст частинок сажі у відпрацьованих газах. Проведено комп'ютерне моделювання та газодинамічний аналіз запропонованої системи очищення відпрацьованих газів дизельного двигуна.

Сформульовано висновки про можливості покращення процесу фільтрування відпрацьованих газів дизеля зміною їх температури, яка впливає на фізичний процес осаджування сажі.

Метою роботи є: зменшення вмісту сажі у відпрацьованих газах дизеля для покращення його екологічних показників

Основними задачами роботи є:

- провести аналіз основних способів фільтрації відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі;

- розглянути основні конструкції фільтрів сажі, порівняти їх з точки зору можливості використання на дизелях сільськогосподарського призначення;
- запропонувати технічне рішення щодо зменшення вмісту частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля;
- розробити конструкцію фільтра сажі;
- провести комп'ютерне моделювання процесу очищення відпрацьованих газів фільтром запропонованої конструкції.

Ключові слова: *дизель, відпрацьовані гази, частинки сажі, фільтр сажі, температура, осадження.*

ABSTRACT

Valentin Maistrenko. Reducing the content of soot particles in the exhaust gases of agricultural diesel - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining the first master's degree in the specialty 208 Agricultural engineering. – Polis National University, Zhytomyr, 2023.

The paper analyzes the known processes and devices for reducing the content of soot in the exhaust gases of diesel engines, considers the physical process of cleaning and the characteristics of widespread soot particle filters.

Devices for cleaning diesel exhaust gases from soot particles of different physical effects are considered: with separation, afterburning, using electric current. The regeneration process of diesel exhaust gas filters is described. It has been shown that agricultural diesel is better suited for the use of certain types of particulate filters, since it operates for a relatively long time at stationary load and speed modes.

It is proposed to improve the diesel soot filter by changing the temperature of the soot particles in front of the filter element, which improves the process of deposition of soot particles on it and thus reduces the content of soot particles in the exhaust gases. Computer modeling and gas dynamic analysis of the proposed diesel engine exhaust gas cleaning system were carried out.

Conclusions are formulated about the possibilities of improving the process of filtering diesel exhaust gases by changing their temperature, which affects the physical process of soot deposition.

The purpose of the work is: to reduce the content of soot in diesel exhaust gases to improve its environmental performance

The main tasks of the work are:

- analyze the main methods of filtering diesel exhaust gases from soot particles;
- consider the main designs of soot filters, compare them from the point of view of the possibility of use on agricultural diesels;
- to propose a technical solution to reduce the content of soot particles in diesel exhaust gases;
- to develop the design of the soot filter;

- conduct a computer simulation of the process of cleaning exhaust gases with a filter of the proposed design.

Key words: *diesel, exhaust gases, soot particles, soot filter, temperature.*

ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ПРОЦЕСИ ФІЛЬТРАЦІЇ САЖІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ	
1.1. Очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі	
1.2. Характеристики фільтрів	
Висновки до розділу 1	
РОЗДІЛ 2. ІСНУЮЧИ ФІЛЬТРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ	
2.1. Фільтр з механічним видаленням сажі (сепаруванням)	
2.2. Пристрій допалювання сажі	
2.3. Електрофільтрувальний пристрій	
2.4. Пристрої комбінованого очищення	
2.5. Регенерація фільтрів відпрацьованих газів дизелів	
2.6. Класифікація пристроїв очищення відпрацьованих газів	
Висновки до розділу 2	
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	
3.1. Газодинамічний аналіз системи випуску відпрацьованих газів двигуна	
3.2. Зменшення вмісту частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля	
Висновки до розділу 3	
ВИСНОВКИ	
Література	

ВСТУП

Актуальність дослідження. Очищення відпрацьованих газів дизельного двигуна внутрішнього згорання, у тому числі від механічних складових, наприклад, частинок сажі дизельних ДВЗ, як основною механічною складовою ВГ дизеля, є важливою задачею, що покращить екологічність двигуна. В той же час процес очищення є складним науково-технічним завданням, вирішення якого залежить від багатьох факторів. Для покращення процесу очищення ВГ ДВЗ необхідно удосконалення конструкції існуючих фільтрів, врахування різних факторів процесу фільтрації, розробка нових підходів до процесу фільтрації. Сьогодні сучасні засоби комп'ютерного моделювання дозволяють в процесі розробки фільтрів ще до стадії натурних випробувань та до виготовлення проводити моделювання і аналітичний аналіз роботи фільтрів.

Для вирішення даного завдання сьогодні у науковців є ряд програмних комплексів для комп'ютерного моделювання різних фізичних процесів, у тому числі й таких, як потік рідини або газу. Очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів від часток сажі на сьогоднішній день є актуальною науковою задачею.

Метою і завданням дослідження є: удосконалення фільтра сажі дизельного двигуна з урахуванням можливості його роботи на біопаливі.

Об'єктом дослідження є процес зміни вмісту частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля застосуванням сажових фільтрів.

Предметом дослідження є фільтр сажі дизеля.

Методи дослідження.

1. Аналітичним методом досліджено

- зв'язок між величиною осадження частинок сажі на фільтрувальному елементі фільтра сажі та її температурою.

2. Методом комп'ютерного моделювання отримано:

- залежності середньої температури відпрацьованих газів при їх проходженні через фільтри грубого та тонкого очищення для різних температур нагрівального елемента.

- залежності температура відпрацьованих газів в фільтрах грубого та тонкого очищення фільтра сажі зі спіральним нагрівальним елементом.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Ільченко А.В. Газодинамічний аналіз пристрою очищення відпрацьованих газів дизеля / А.В. Ільченко, В. В. Майстренко // Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2023» 25 жовтня 2023 р., Житомир: Поліський національний університет, 2023., с. 31-32.
2. Ільченко А.В. Використання фільтрів сажі в системі випуску відпрацьованих газів дизельного двигуна / А.В. Ільченко, В. В. Майстренко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інженерні процеси та системи», 14-15 червня 2023 р., Житомир: Поліський національний університет, 2023., с. 19-22.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінок комп'ютерного тексту, 16 рисунків та 1 таблиця.

РОЗДІЛ 1. ПРОЦЕСИ ФІЛЬТРАЦІЇ САЖІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ

1.1. Очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі

Природа нашої планети - це система з великою кількістю збалансованих зв'язків. Порушення цих зв'язків призводить до змін тривало існуючих сталих процесів кругообігу речовин та енергії. Суспільством сьогодні в споживання залучається велика номенклатура речовин та енергії. Але ця кількість в багато разів перевершує біологічні потреби людства.

Виробнича діяльність людини пов'язана з використанням дуже різних ресурсів, які фактично охоплюють всі природні та штучно створені людиною хімічні елементи. Високий рівень антропогенного навантаження на навколишнє середовище та його швидке зростання - головна причина сучасного екологічного стану природи, навколишнього середовища. Самі гострі проблеми екологічної кризи і пов'язані зі станом атмосфери, гідросфери й літосфери землі тощо.

Сьогодні зменшення токсичних речовин, що попадають в атмосферне повітря, які в великій кількості виділяються транспортом та промисловими підприємствами тощо, є найважливішою проблемою, що має людство на даному етапі розвитку. Забруднення тільки повітря активно впливає на здоров'я людини, на тварин, рослини тощо. Від його стану залежить стан всього навколишнього середовища. Матеріальна шкода, що викликається тільки забрудненням повітря, оцінюється наближено, але навіть з урахуванням неповних даних, вона сьогодні вже є досить великою.

В той же час існування сучасного суспільства неможливе без транспорту, а тому числі автомобільного. Також в сільському господарстві використовується велика кількість дизелів великої потужності та літражу.

При інтенсивній сучасній урбанізації, рості і появі великої кількості мегаполісів транспорт став несприятливим фактором для здоров'я людини й всього природного середовища, особливо в великих містах.

Сучасні дизелі використовуються в промисловості, сільському господарстві, переробній промисловості, енергетиці, в армії тощо. Можна стверджувати, що сьогодні дизельний двигун став конкурентом людини в життєвому просторі.

Дизельні двигуни інтенсивно забруднюють повітря багатьма токсичними компонентами, в тому числі й сажею, одночасно з цим поглинаючи кисень.

Одним з компонентів у складі відпрацьованих газів дизеля є сажа, яка являє собою частинки, як тіло без кристалічних решіток. У відпрацьованих газах дизельного двигуна наявна сажа складається з частинок діаметрами 0,3...100 мкм.

Утворення частинок сажі відбувається під впливом енергетичних умов в циліндрі дизельного двигуна. Внаслідок таких умов складна молекула палива не повністю руйнується, легкі атоми водню дифундують в шар, що містить багато кисню, в ньому окислюються і не дають вуглеводневим атомам контактувати з киснем окислюватись.

Сажа являє собою дисперсний продукт неповного згорання вуглецю або термічного розкладання вуглеводнів. Вона складається зі пористих частинок темного чорного кольору. Середній розмір таких сажових частинок складає 100-3500 Ангстрем ($1 \text{ Ангстрем} = 10^{-7} \text{ мм}$). Частинки сажі утворюються з шарів вуглецевих атомів, шорсткою або гладкою поверхнею.

Сажа в процесі роботи двигуна внутрішнього згорання разом з продуктами горіння викидається в атмосферу і утворює шкідливий дим. Сажа, крім того, що є механічним забруднювачем дихальних шляхів людини, адсорбує різні речовини, в тому числі й канцерогени. Вона також сприяє різного роду алергічним реакціям живих організмів. В нормальних атмосферних умовах сажа не взаємодіє з киснем повітря, але за рахунок процесів осадження (без подальшого окислювання до стану CO_2), може накопичуватись локально на рослинах, ґрунті тощо. Тому, для збереження здоров'я живих організмів та людини на практиці необхідно застосовувати жорсткий контроль за повнотою згорання палива в двигунах внутрішнього згорання.

Вплив сажі на живі організми та людину в науковій літературі описано лише частково. В той же час відомим є факт, що перебуваючи у зваженому стані, частинки сажі несуть на собі абсорбовані речовини сильної окислювальної дії, канцерогени (наприклад, бенз(а)пірен), які є надзвичайно небезпечними для людини. В зв'язку з цим норми викидів сажі у відпрацьованих газах дизельних двигунів постійно стають більш жорсткими.

Розроблено велику кількість способів та пристроїв для зниження концентрації сажі у відпрацьованих газах транспортних, промислових та сільськогосподарських дизелів. Сьогодні важливими є аналіз щодо можливості використання, покращення їх властивостей, класифікація таких пристроїв з визначенням їх позитивних і негативних властивостей, що дасть змогу покращити процес якості процесу очищення відпрацьованих газів дизелів від сажі.

На другому місці після дизелів різного призначення забруднювачем атмосфери є промисловість та сільське господарство. До складу викидів в атмосферу в такому випадку входить не тільки сажа, а також велика кількість інших зважених частинок, які створюють пил.

В історичній літературі описано факти спроб обмежити забруднення повітря великих міст. Вони вперше з'являються до початку середніх віків. Законодавчі рішення того часу створювались за ініціативою і тиском громадськості і тривалий час носили паліативний характер. На початку активного розвитку промислового виробництва в XIX столітті клуби диму і пилу, що надходили з фабричних труб і тривалий час знаходилися в повітрі промислового міста, розглядалися як показник активного виробництва й сприймалися за факт процвітання міста, регіону тощо. В кінцевому результаті активний розвиток промисловості зі стихійним утворенням і розташуванням промислових підприємств ще в середині XIX століття призводило до створення нестерпних умов щодо чистоти та якості повітря. З плином часу людство на законодавчому рівні почало обмежувати концентрацію сажі і пилу в викидах підприємств, що покращувало стан атмосферного повітря.

З подальшим зростанням обсягів промислового виробництва збільшувалась та накопичувалась кількість дисперсного матеріалу в повітрі. Цей факт сприяв збільшенню обсягів забруднень в атмосферному повітрі, що додатково ускладнювалось відсутністю і/або недосконалістю засобів контролю та пристроїв для уловлювання забруднюючих речовин.

При вмісті сажі 130 мг/м^3 у відпрацьованих газах, вони стають видимими, при вмісті 600 мг в 1 м^3 – приймають явно виражений сірий колір середньої чорноти.

Дослідження показують, що більшість часток сажі (87-98 %) уловлюється з чорного диму та мають розміри $0,04\text{-}0,50 \text{ мкм}$. Але вони, в свою чергу складаються з більш дрібних частинок розміром $0,015\text{-}0,170 \text{ мкм}$. Форма таких частинок є наближеною круглої або овальної. Окремі частинки об'єднуються в групи з $100\text{-}1000$ часток, іноді формують в ланцюги до 30 часток.

Розподіл часток сажі у відпрацьованих газах дизеля за розмірами наведено на рис. 1.1. Сумарна питома поверхня частинок сажі не перевищує $75 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Оскільки 1 м^3 відпрацьованих газів видимого спектру має вміст 130 мг сажі, це означає, що в даному об'ємі є поверхня для осадження (адсорбції) на ній канцерогенних речовин до 10 м^2 , а для відпрацьованих газів середньої чорноти за кольором - до 45 м^2 , тому сажа, що утворюється у відпрацьованих газах дизельного двигуна небезпечна не тільки як механічний забруднювач легень людей та тварин, але і як активний утримувач сильних окислювачів та канцерогенних речовин.

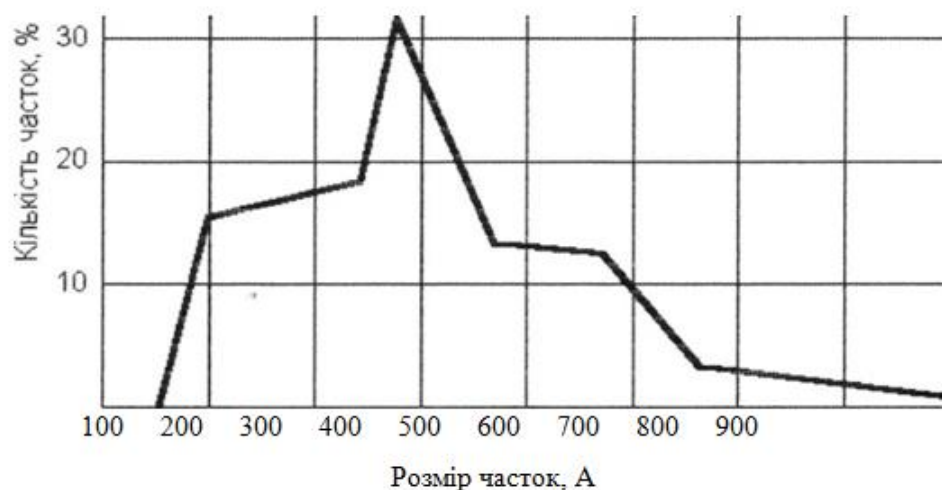


Рис. 1.1. Розподіл частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля [1]

Таким чином, покращити екологічні показники дизеля зменшенням викидів сажі можливо застосуванням фільтрів сажі. Процесами та пристроями уловлювання (фільтрації пилу) людство займається тривалий час, що наразі є актуальним у використанні для дизельних двигунів. Відомий перший патент на конструкцію уловлювача-циклона (1880 рік). Перший електричний фільтр-уловлювач був сконструйований в 1906 році. На сьогодні існує і застосовується в експлуатації велика кількість пристроїв для очищення промислових викидів, відпрацьованих газів дизелів, дія яких заснована на різних фізичних явищах. За принципом дії, що використовується, всі вказані пристрої можна поділити на групи [1]:

- електричні;
- гравітаційні;
- інерційні (сухі та мокрі);
- контактної дії.

Розроблено багато конструкцій «мокрих» фільтрів, робота яких ґрунтується на явищі поглинання дисперсних частинок рідкими плівками або відокремлення їх в процесі промивання газів рідинами.

В гравітаційних пристроях застосовано принцип використання гравітаційних сил (сил ваги), які зумовлюють осідання дисперсних частинок. Саме на такому принципі працюють засоби пилоосадження.

В інерційних сухих або мокрих вловлювачах використано сили інерції, які мають місце при зміні напрямку руху повітряного потоку з дисперсними частинками. До них відносять: циклони, скруббери, циклони-промивачі, струминеві вловлювачі типу ротоклон і та інші.

Фільтри та уловлювачі контактної дії прихоплюють дисперсні частинки при проходженні забрудненого повітря через пористі елементи, які можуть бути як сухими, так і мокрими. В якості таких елементів використовують тканину, синтетичні волокнисті матеріали, папір, матеріали зернистої структури, пористу кераміку.

В електричних вловлювачах і фільтрах використовують ефект осадження частинок в повітрі шляхом їх іонізації під час проходженні через електричне поле.

Будь-які пристрої фільтрації механічних домішок в повітрі мають свій діапазон застосування в залежності від дисперсного складу частинок, що уловлюються (фільтруються), (рис. 1.2).

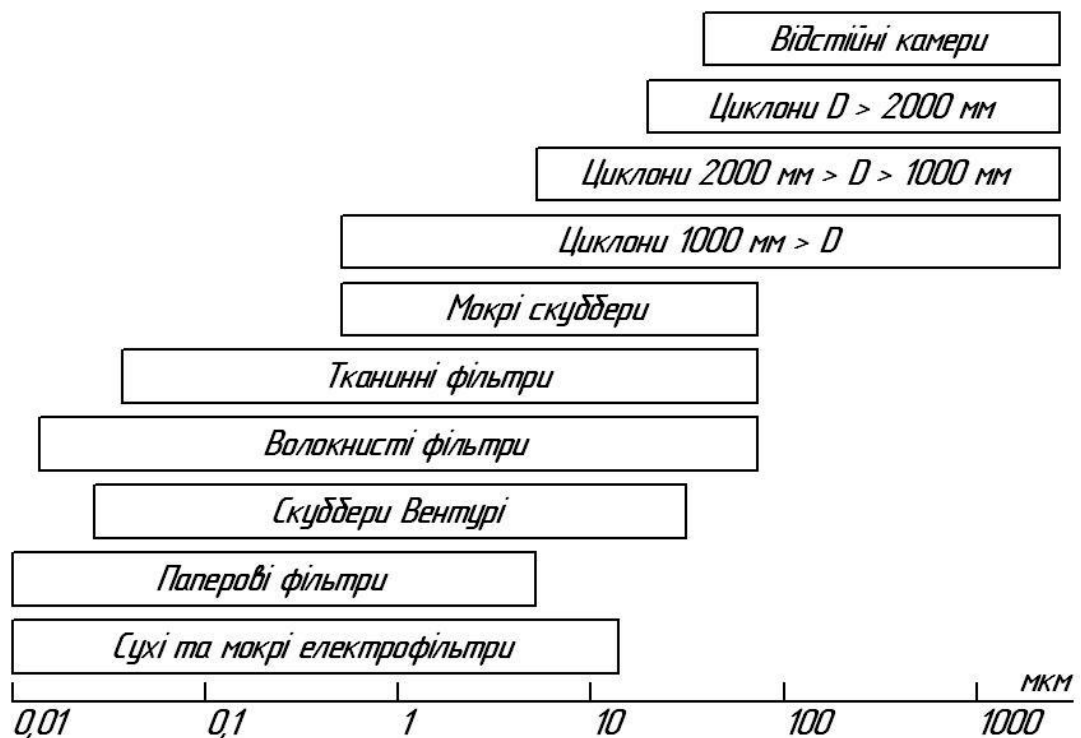


Рисунок 1.2. – Застосування пристроїв фільтрації повітря в залежності від розміру дисперсних частинок

З рис. 1.2. можна зробити висновок, що для фільтрації високодисперсних аерозолів, які мають частинки діаметром менше 1 мкм, частіше використовуються фільтри (уловлювачі) контактної дії. Вони мають основний недолік - вимагають періодичного очищення (заміни) фільтруючого елемента й розраховані на

відносно малі концентрації дисперсної складової і малих швидкостей руху повітря. Внаслідок цього вони мають відносно малу продуктивність, високу витратну в процесі експлуатації.

Також суттєвими недоліками таких фільтрів (уловлювачів) є непостійна продуктивність, збільшення гідравлічного опору, а значить ефективності фільтрації. Крім того в експлуатації виникають труднощі щодо очищення фільтруючого елементу від осаджених на ньому частинок. При цьому частинки, що уловлюються, можуть бути отруйними, радіоактивними, пожежебезпечними та іншими шкідливими речовинами.

На відміну від попередніх електричні фільтри мають відносно малий гідравлічний опір та високу ефективність фільтрації, а також задовільну надійність. Але, в таких фільтрах для поліпшення процесу фільтрації частинок менше 1 мкм необхідна попередня підготовка газів перед пропусканням їх через фільтр у вигляді грубого очищення, зволоження, охолодження, а в певних випадках навпаки укрупнення частинок, що додатково ускладнює процес фільтрації.

Сучасні фільтри, що використовують принцип електростатичного осадження, не можуть забезпечити ефективність фільтрації, яка б наближалася до 100 %. Це пов'язано з тим, що не всі частинки можуть досягати електродів-осаджувачів через відносно невисоку швидкість їх руху та турбулентний рух потоку, коли частинки великих розмірів зриваються з місця осадження під дією потоку. Також необхідно зазначити, що не всі речовини мають властивість електризуватись і тоді повністю виключається можливість їх уловлювання в електростатичних фільтрах. Такою речовиною є сажа, що має відносно малу вагу та малий питомий електричний опір (слабо електризується).

Таким чином можна рекомендувати перед електрофільтрами проводити осадження крупних частинок звичайним способом, наприклад, на фільтрах

мокрого типу, які останнім часом отримали суттєве удосконалення та мають необхідні працездатність, надійність та ступінь фільтрації.

Також фільтри мокрого очищення мають переваги:

- висока ефективність фільтрації дисперсних частинок у порівнянні із сухими механічними, при цьому деякі типи мокрих фільтрів (наприклад, скрубери Вентурі) можуть частково уловлювати високодисперсних частинки;
- можуть використовуватися в умовах високих температур, підвищеній вологості, при небезпеці загорання й вибуху частинок, що фільтруються.
- одночасно зі зваженими частинками можуть уловлювати паро- та газоподібні включення.

Недоліками вказаних фільтрів є їх технічна складність та необхідність рідинного фільтрування робочого тіла.

В багатьох випадках вибір конструкції фільтра визначається його продуктивністю та необхідною періодичністю заміни фільтрувальних матеріалів. Так, фільтри з матерії та електрофільтри можуть бути рекомендовані до застосування, коли вартість частинок, що уловлюються, окупається їх експлуатаційними витратами. Також відомо, що фільтри даного принципу дії як правило мають великі габарити, і відповідно, не завжди можуть бути прийняті до використання.

1.2. Характеристики фільтрів

На більшості сучасних дизельних двигунів для покращення їх екологічних показників використовують сажові фільтри. Вони необхідні для фільтрації частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля, наявність яких пояснюється неповним згоранням палива.

Як правило фільтр сажі представляє собою пористу жаростійку структуру, осередки якої мають досить малі розміри і затримують у своїх "клітинках" сажові включення. При цьому в процесі експлуатації настає момент, коли основна

кількість пористої структури сажового фільтра буде заповненою частинками сажі. Циліндри двигуна починають недостатньо очищуватись, погіршується їх наповнення свіжим зарядом, падає потужність двигуна, зростає витрата палива, погіршуються екологічні показники двигуна в цілому.

Це є однією з причин упередженого ставлення до сучасного дизельного двигуна. Також власники сучасних автомобілів з дизельними двигунами скаржаться на проблеми, пов'язані необхідністю чищення сажового фільтра. Але, аналіз показує, що більшості проблем з сажевими фільтрами можна уникнути через правильну експлуатацію двигуна автомобіля.

Сажеві фільтри сучасних дизельних двигунів поділяються на групи [1, 2]:

- FAP™ ("filtre a particules"), фільтри закритого типу з функцією регенерації (ФЗР);
- PM (Particulate Matter, Particulate Matrix), фільтри відкритого типу;
- DPF (Diesel Particulate Filter), фільтри закритого типу (ФЗ).

Фільтри відкритого типу швидше за все відносяться не стільки до фільтрів частинок сажі, скільки до вловлювачів. Вони мають форму "равлика", яка згорнута з гладким та гофрованим шарами жаростійких металів, які чергуються. Цей тип фільтрів називається "відкритим" унаслідок того, що кожен "гофр" можна являє собою відкриту з двох сторін трубку з внутрішнім отвором 0,05-0,1 мм. Спалювання частинок сажі до стану CO_2 в фільтрах відкритого типу відбувається за рахунок хімічної реакції з двоокисом азоту NO_2 під впливом температури відпрацьованих газів самого двигуна.

Даний фільтр дозволяє утримати близько 50 % всіх частинок сажі і можна стверджувати, що фільтри відкритого типу приблизно вдвічі зменшують кількість шкідливих викидів дизеля.

В конструкції такого фільтра не потрібна складна електронна система для керування фільтром та контролю параметрів його роботи, він також має відносно низьку здібність бути засміченим. Процес регенерації фільтра відкритого типу

досить простий, для відновлення його властивостей достатньо його зняти та промити спеціальним розчином.

Такий фільтр характеризується низькою швидкістю хімічних реакцій окислювання частинок сажі, що важливо в умовах холодних та вологих кліматичних районів. В ньому не передбачається застосування систем контролю за його станом. В технічній літературі відмічається схильність фільтрів відкритого типу до вигорання металевої сітчастої основи, особливо, у випадках використання палива незадовільної якості, несправності системи його впорскування або газорозподільного механізму дизеля. Процес регенерації такого фільтра вимагає демонтажу, що додає трудомісткості до процесу технічного обслуговування.

Основою фільтра закритого типу є конструктивний елемент, який називається реактор. Він виробляється з пористого карбїду кремнію (спеціальної кераміки). Реактор має структуру, що складається з закритих каналів діаметром 0,08-0,1, сукупність яких утворює так звану мікроклітчатку.

Частинки сажі, що потрапляють з відпрацьованими газами дизеля в ці мікроканали, осаджуються і утримуються на їх стінках, а очищені гази, виходять через пори керамічних мікроканалів назовні. Таким чином в фільтрах даного типу досягається уловлювання до 90 % частинок сажі різних розмірів.

Фільтри закритого типу мають систему контролю рівня засмічення реалізовану зі зворотним зв'язком. Інформація про засмічення отримується за показаннями двох датчиків тиску, що розташовані на вході і виході з фільтра. В режимах малих обертів та відносно малих навантажень у відпрацьованих газах дизеля кількість частинок сажі збільшується. З цієї причини такі режими є найгіршими для фільтрів закритого типу, оскільки вини більше засмічуються частинками сажі, очищення циліндрів і подальше їх наповнення погіршується, потужність двигуна зменшуються, зростає витрата палива, погіршуються показники токсичності.

Фільтр у випадку засмічення очищують випалюванням сажі. Для цього температуру фільтрувального елемента піднімають до 600-800 °С для збільшення швидкості реакцій згорання (окислення) вуглецю, що міститься в сажі, до CO та

CO₂. В процесі експлуатації для очищення фільтрів закритого типу виробники рекомендують періодично проводити процес регенерації. На автомобільному дизелі це досягається пробігом на відстані приблизно 40 км зі швидкістю 80 км/год на низьких передачах, або рухатися в звичайному режимі, також використовуючи знижену можливу передачу. Але цей спосіб не завжди зручний в експлуатації, він також пов'язаний з перевитратою палива під час такого руху. Тому розроблені системи керування фільтром з використанням системи впорскування палива деяких дизельних двигунів. Ці системи мають можливість змінювати параметри роботи двигуна з метою очищення фільтра закритого типу від частинок сажі. Сьогодні фільтри закритого типу є досить розповсюдженими і встановлюються на більшість дизельних різних марок.

Суттєвою експлуатаційною перевагою даних фільтрів є швидкість і повнота хімічних реакцій окислення частинок сажі до стану CO і CO₂, що проводиться незалежно від зовнішньої температури і вологості повітря. Ефективність роботи фільтра багато в чому залежить від якості палива, що використовується, та за можливістю уникнення режимів роботи дизеля на малих обертах та малих навантаженнях. Як правило ресурс фільтра закритого типу автомобільного дизеля складає 60-80 тис. км. пробігу. Використання фільтрів закритого типу неможливо без системи діагностування його стану, фільтр має відносно складну конструкцію та технологію виготовлення.

FAP™ - офіційна марка фільтра закритого типу з регенерацією, що створений групою PSA Peugeot Citroen. Фільтри FAP™ є вдосконаленими фільтрами закритого типу марки DPF, які доповнено системою саморегенерації.

В процесі регенерації фільтрів FAP™ використовується присадка марки EOLYS™, яка регулярно автоматично подається в в дизельне паливо з окремого резервуару. Подача здійснюється в паливний бак автомобіля системи живлення дизеля за сигналом системи контролю стану фільтра, в результаті чого фільтр закритого типу активно очищується.

Присадка EOLYS™ - це колоїдний розчин дизельного палива з мікрогранулами церію, що знаходяться в нерозчинній оболонці з речовини, яка за

фізичними властивостями схожа на желатин. Така речовина при згоранні виділяє велику кількість тепла і додатково розігріває відпрацьовані гази до температури, при якій частинки сажі окислюються.

Відпрацьовані гази певної температури потрапляють в FAP™-фільтр і розігрівають спеціальний керамічний реактор до температури 700 °С, в результаті чого всі частинки сажі практично повністю вигоряють. Також при досягненні локальних температур близько 1000 °С згоряє основна частина вуглеводневих продуктів неповного згорання, що осідають в фільтрі. Вісь процес очищення фільтра після упорскування присадки EOLYS™ в дизельне паливо займає приблизно від 3 до 5 хвилин.

Основна перевага фільтрів технології FAP™ в тому, що процес регенерації фільтра ніяк не впливає на показники роботи двигуна, відбувається автоматично та практично непомітно.

До недавнього часу фільтри закритого типу FAP™ були єдиними фільтрами з застосуванням регенерації. Кілька років тому у виробники двигунів для автомобілів Ford і Toyota та іншими почали використовувати альтернативні розробки cDPF, DPNR та ін. Однак, вони поступаються надійністю, досконалістю та якістю фільтрам FAP™.

Наприклад, переважна більшість дизельних двигунів Peugeot оснащена сажовими фільтрами FAP™ III-го покоління, які мають наступні переваги:

- збільшений термін служби відносно фільтрів відкритого та закритого типів, який за умов правильної експлуатації практично співпадає з терміном служби всього двигуна;
- відсутність надлишкового засмічення;
- висока надійність;
- відсутність впливу на роботу дизеля;
- відносно висока пристосовуваність до використання дизельного палива різної якості;
- низькі експлуатаційні витрати;

Але, до цього треба зауважити про недоліки:

- необхідність використання рідини EOLYS™ через 80-100 тис. км пробігу автомобіля;
- небажана експлуатація фільтра за відсутності рідини EOLYS™;
- збільшена витрата рідини EOLYS™ при експлуатації дизеля на паливі низької якості;
- підвищені вимоги до жаростійкості та жароміцності матеріалів реактора та системи діагностики фільтра, що збільшує його вартість;

Процес регенерації фільтра FAR™ відбувається в послідовності:

- церій, що міститься в порціях палива, яке впорскується в циліндри дизеля, не впливає на протікання процесу згорання, але збільшує температуру відпрацьованих газів. Підвищення температури не призводить до перегріву двигуна, а лише розігріває реактор FAR™-фільтра;
- під час такту випуску в двигуні при відкритих випускних клапанах відбувається впорскування палива в потік газів, що витісняються з циліндра. При цьому не виникає спалахування церію, але відбувається випаровування желатинової оболонки гранул;
- в розігрітому виді та без оболонки частинки церію потрапляють на розігріту до температури 400-600 °С клітковину фільтра;
- далі розігрітий церій у присутності кисню відпрацьованих газів і вуглецю сажі спалахує, підпалюючи частинки сажі;
- розігріті частинки сажі за наявності церію активно окислюються, що не призводить до пошкодження керамічної решітки фільтра, а з іншого боку, додатково окисляються і осаджені органічні сполуки.

Церій і сплав з залізом має властивість - при ударі о шорстку сталеву поверхню висікаються іскри з температурою до 200 °С.

Активна взаємодія з галогенами, азотом і вуглецем лягла в основу використання його в FAR™-фільтрах.

Висновки до розділу 1:

Проведено аналіз процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизельних двигунів. Розглянуто недоліки та переваги найбільш розповсюджених способів фільтрації, реалізованих в фільтрах: відкритого типу РМ (Particulate Matter, Particulate Matrix); закритого типу DPF (Diesel Particulate Filter); закритого типу з функцією регенерації FAP TM ("filtre a particules"). Наведено особливості їх застосування. Доведено необхідність удосконалення існуючих фільтрів сажі дизелів для покращення їх екологічних показників.

РОЗДІЛ 2. ІСНУЮЧИ ФІЛЬТРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ

Одним з головних забруднювачів атмосфери дисперсними частинками, в тому числі і сажею, є автомобільний транспорт з дизелями. Особливо це відчувається в великих містах. В зв'язку з цим екологічні вимоги до дизелів стають все більш пріоритетними.

Екологічна безпека автомобіля – це властивість знижувати негативні наслідки його впливу в експлуатації на навколишнє середовище та його користувачів. Вона складається з впливу токсичних відпрацьованих газів, зменшення шумового навантаження, радіозавад, руйнування опорної поверхні руху автомобіля.

Незважаючи на численні спроби замінити дизельний двигун внутрішнього згорання на кращий з екологічної точки зору, він ще є достатньо розповсюдженим. Для всебічного впровадження екологічних принципово нових двигунів необхідний час, переналагодження виробництва, створення інфраструктури, підготовки обслуговуючого персоналу та водіїв. Разом з тим людство вже розуміє, що без екологічного двигуна обійтися не можна. Один з шляхів - в перехідний період звести до мінімуму шкідливі викиди дизельних двигунів.

Для цього виробниками ведеться велика кількість розробок різних за принципом дії та конструкції фільтрів, каталізаторів, допалювачів речовин у відпрацьованих газах двигуна, які сприяють покращенню їх екологічних показників. Незважаючи на велику кількість розробок в даній галузі, дизелі ще потребують екологічного удосконалення, оскільки вносять до 85 % сумарного забруднення повітря великих і середніх міст. Варто зазначити, що більшість способів очищення відпрацьованих газів від частинок сажі, що використовуються в дизелях, схожі за принципами та пристроями очищення промислових газів, і відрізняються лише розмірами та задачами фільтрації.

Всі відомі способи і пристрої очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі поділяються на внутрішні (безпосередньо в самому двигуні) і

зовнішні (встановлюються у випускному тракті двигуна) [2]. Внутрішні способи реалізуються удосконаленням конструкції двигуна та пов'язані з оптимізацією робочого процесу. До них відносяться: удосконалення форми впускних та випускних каналів для створення потоків повітря в камері згорання дизеля, підвищення тиску впорскування палива, удосконалення форми камери згорання, використання змінних режимів роботи системи газорозподілу тощо. Застосування цих способів впливає на викиди сажі як вторинна дія, оскільки розраховані в основному для зміни показників роботи самого двигуна, а це в свою чергу впливає на його екологію. Зовнішні способи очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі в більшості випадків використовують різні фізичні явища. Практично всі з них орієнтовані на уловлювання та утилізацію частинок сажі.

2.1. Фільтр з механічним видаленням сажі (сепаруванням)

Відомо, що тверді і рідкі складові відпрацьованих газів дизеля можна уловлювати методом механічного сепарування, який полягає в розкручуванні (обертанні) потоку відпрацьованих газів з наступним видаленням сажі та утриманням її в спеціальних бункерах з подальшим їх очищенням (рис. 2.1.) [3].

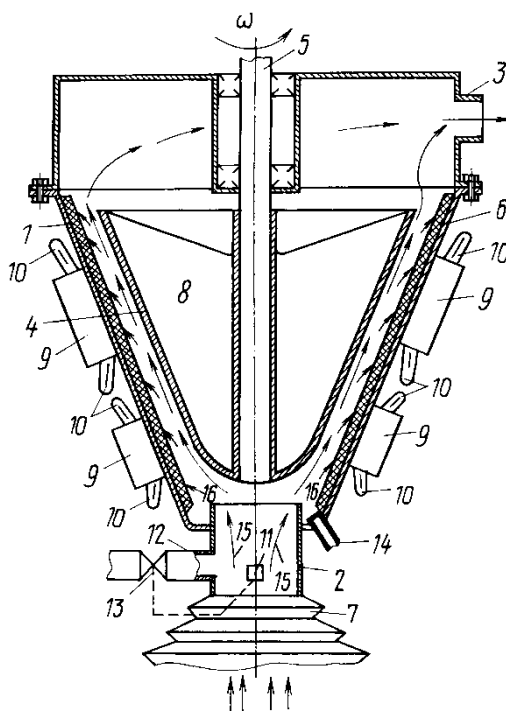


Рисунок 2.1. – Фільтр-сепаратор відпрацьованих газів: 1 – корпус; 2, 3 – патрубкі впуску та випуску; 4 – ротор; 5 – вісь; 6 – вставка; 7 – сільфон; 8 – ребро; 9 – магнітопровід; 10 – обмотка; 11 – датчик виміру тиску; 12 – трубопровід; 13 – регулятор витрати повітря; 14 – трубка; 15, 16 – напрямки руху газів та домішок

Фільтр-сепаратор працює наступним чином. Ротор 4 встановлений на осі 5 та має можливість обертатися. Внаслідок дії сил аеродинамічного тертя відпрацьовані гази в корпусі 1 мають поступально-обертальний рух, який спрямований у бік обертання ротора 4 в напрямку від впускного 2 до випускного 3 патрубків. Всередині корпусу 1 формується газовий потік, який засмоктує відпрацьовані гази двигуна в нижню частину корпусу 1 і далі вони поступають в зазор між ротором 4 і вставкою 6 всередині корпусу 1. В зазорі під дією відцентрових сил частинки сажі в відпрацьованих газах дизеля, рухаються до вставки 6 й утримуються на ній (на рис. 2.1. показано стрілками 16). Далі відпрацьовані гази через випускний патрубок 3 випускаються в атмосферу. Вставка 6 є змінною, при певному забрудненні підлягає заміні. В якості матеріалу вставки 6 використовується пористий картон або інші багат шарові матеріали, які між своїми шарами механічно затримують сажу, масло та інші домішки, що мають місце у відпрацьованих газах дизеля. Сільфон 7 з'єднує фільтр-сепаратор з випускним колектором дизеля.

Відомо, що домішки в відпрацьованих газах знаходяться в дисперсному стані, саме тому для їх осадження на поверхні фільтра необхідні відносно великі значення відцентрових сил. Також для забезпечення необхідної пропускної спроможності фільтра-сепаратора необхідна велика вертикальна швидкість відпрацьованих газів в корпусі 1. А для цього необхідна відносно велика частота обертання ротора 4 для забезпечення міцність всередині якого розташовано ребра жорсткості 8.

Привід ротора 4 використовує електродвигун постійного струму або магнітопроводи (рис. 2.2.).

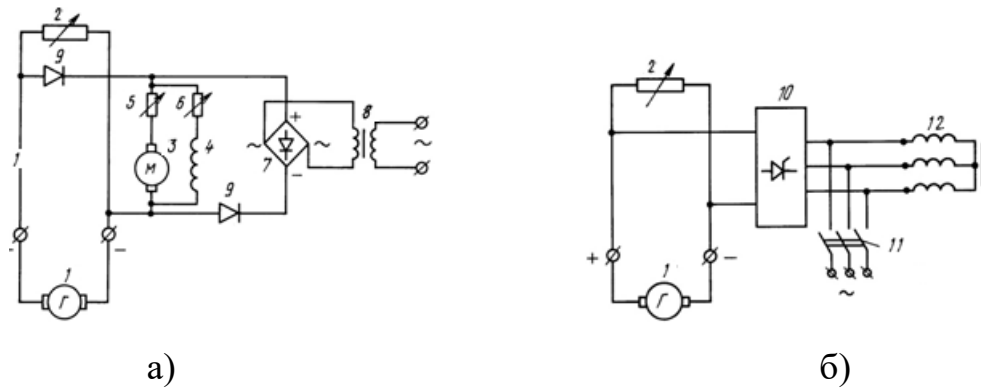


Рис. 2.2. Схеми підключення приводу ротора фільтра-сепаратора: 1 – джерело електричного струму; 2 – реостат; 3 – електродвигун; 4 – обмотка збудження; 5, 6 – додаткові резистори; 7 – випрямляч; 8 – трансформатор; 9 – діод; 10 – перетворювач; 11 – вимикач; 12 – магнітопроводи

Недоліками фільтра-сепаратора є його складність, відносно великі енерговитрати та велика матеріалоемність.

2.2. Пристрій допалювання сажі

Відомі пристрої плазмового допалювання сажі у відпрацьованих газах двигуна. Принцип їх дії полягає в пропусканні газів через факел низькотемпературної плазми (рис. 2.3.) [4].

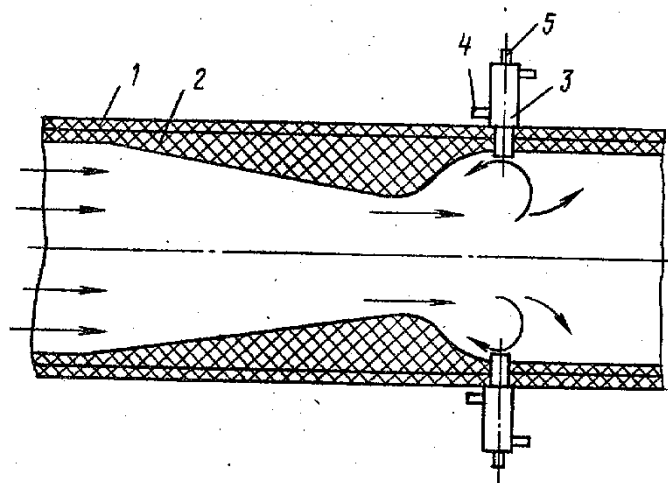


Рисунок 2.3. – Пристрій плазмового допалювання відпрацьованих газів: 1 – камера допалювання; 2 – труба Вентурі; 3 – канал підводу повітря; 4 – паливна форсунка; 5 – електрод

Пристрій працює наступним чином. Потік відпрацьованих газів проходить ділянку 2 на який його швидкість зростає за рахунок звуження. За ділянкою 2 відбувається зрив потоку і його турбулізація. Далі відпрацьовані гази попадають в струмінь низькотемпературної плазми, що утворюється електродами 5 і паливними форсунками 4. Плазма й паливо в даному випадку є генераторами активних частинок, які, надходячи у відпрацьовані гази, призводять до окислювання продуктів неповного згорання палива, в тому числі і сажі.

Подача палива через форсунки 4 призводить до збільшення температури в об'ємі камери 1, що сприяє покращенню плазмохімічних реакцій окислювання з сажею. Додатково дані реакції призводять до утворення концентрацій атомів, радикалів, продуктів неповного перетворення вуглеводнів, які в свою чергу сприяють різкої інтенсифікації процесу допалювання сажі.

Утворення заряджених і хімічно активних частинок відбувається в турбулізованому потоці відпрацьованих газів, що активно збільшує швидкість реакції, сприяє кращому її протіканню, при в цілому зменшує вміст сажі у відпрацьованих газах дизеля.

Недоліками пристрою є відносно значні енерговитрати, несприятливі температурні навантаження на систему випуску відпрацьованих газів дизеля та її перегріву.

2.3. Електрофільтрувальний пристрій

Відомі пристрої, що побудовано на явищі електричного фільтрування. Відпрацьовані гази двигуна шляхом впливу електричного поля на частинки сажі (а також і на рідкі частинки) осаджуються на електроди та наступним періодичним видаленням (рис. 2.4.) [5].

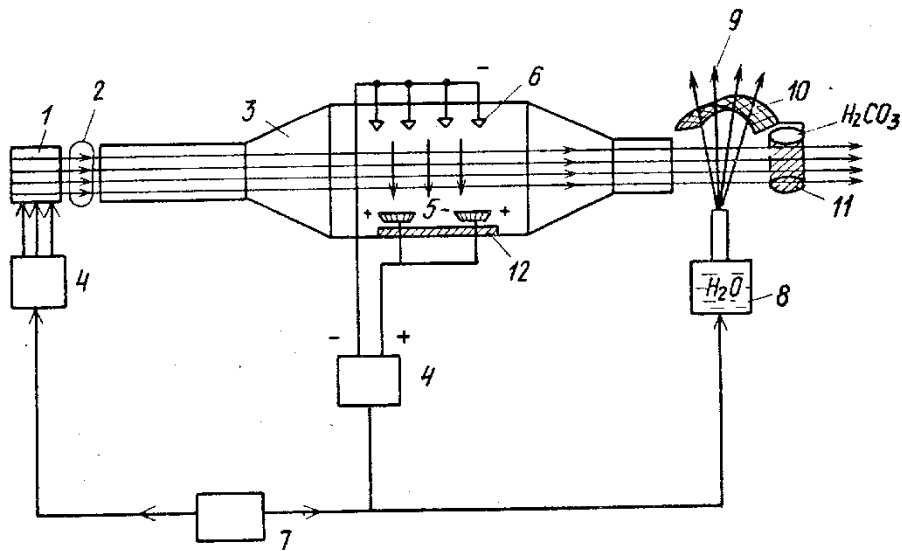


Рис. 2.4. Пристрій для електричного фільтрування відпрацьованих газів: 1 – двигун; 2 – відпрацьовані гази; 3 – камера осадження; 4 – блок запалювання; 5, 6 – електроди; 7 – генератор; 8 – впорскувач; 9 – аерозоль; 10 – пластина; 11 – ємність; 12 – сітка

Відпрацьовані гази дизеля 2 надходять у камеру 3, які від електродів 5 та 6 під дією електричних імпульсів високої напруги обробляються аерозоллю 9 за допомогою впорскувача 8. Обробку відпрацьованих газів 2 імпульсами й подачу аерозолі проводять з частотою спалахування паливної суміші дизеля. Шпаруватість імпульсів регулюють генератором 7. Вологу з сажею конденсують на пластині 10, збирають в ємності 11, сажа осідає на сітці 12 поряд з електродами 5 та 6.

Недоліками даного пристрою є складність конструкції, відносно низька надійність осадження сажі та нагару на внутрішній поверхні пластин, використання додаткової електричної енергії.

Відомий спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі її електротермічним розкладанням. Даний спосіб є енерговитратним і тому не знайшов широкого розповсюдження в процесах фільтрації сажі відпрацьованих газів дизелів.

2.4. Пристрої комбінованого очищення

Особливу увагу привертають комбіновані пристрої очищення відпрацьованих газів дизеля, що поєднують сажовий фільтр і каталітичні блоки допалювання оксидів азоту, оксиду вуглецю та вуглеводнів (рис. 2.5.) [6].

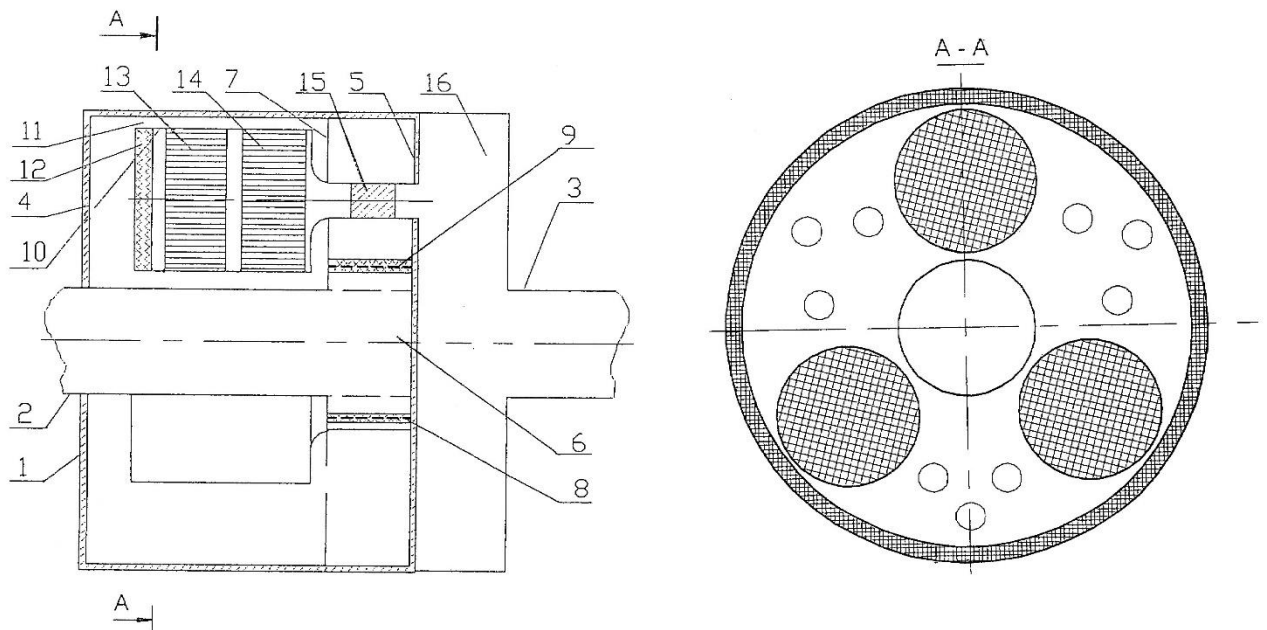


Рис. 2.5. Комбінований пристрій очищення відпрацьованих газів: 1 – корпус; 2, 3 – патрубки; 4 – кремнеземна тканина; 5 – торець; 6 – перфорована ділянка; 7 – перфорована перегородка; 8 – сажовий фільтр грубого очищення; 9 – електричний нагрівач; 10 – оболонка; 11 – порожнина; 12 – фільтр тонкого очищення; 13 – каталітичний блок окислення оксидів азоту; 14 – каталітичний блок окислювання оксиду вуглецю й вуглеводнів; 15 – вогнегасний фільтр; 16 – резонаторна камера

На внутрішню поверхню корпусу та на поверхню каталітичного блоку окислювання оксидів азоту й блоку окислювання оксиду вуглецю й вуглеводнів нанесено каталізатори на основі складного оксиду $Cu_xCo^{2+}_yCo^{3+}_{2y}Sr_zZr_{0,5z}Ti_{1-(0,5x+2y+z)}O_2$.

Робота пристрою відбувається наступним чином. Відпрацьовані гази двигуна надходять в пристрій по вхідному патрубку 2. Вдаряючись в поверхню торця 5 корпусу 1 вони змінюють напрямок руху, газовий потік надходить через перфоровану ділянку 6 труби патрубка 2, сажовий фільтр 8 грубого очищення й отвори в перфорованій перегородці 7 у внутрішній простір корпусу 1 де

розташовані оболонки 10. При цьому великі й середні частинки сажі затримуються фільтром грубого очищення 8, в якому і відбувається їх каталітичне допалювання.

При русі відпрацьовані гази в порожнині 11 через зміну напрямку руху і зіткнення з каталізатором 4, що знаходяться на внутрішній поверхні корпусу 1, частинки сажі осідають на каталізаторі й допалюються.

Змінивши ще напрямок руху, потік проходить через сажовий фільтр тонкого очищення 12, через каталітичний блок 13 відновлення оксидів азоту, каталітичний блок 14 окислювання вуглецю та вуглеводнів. Далі потік проходить через фільтр 15, що запобігає проходженню полум'я, надходить у камеру 16, в якій через розширення знижується швидкість і температура газового потоку. Резонаторна камера 16 забезпечує зниження шуму роботи фільтра (акустичних коливань відпрацьованих газів), що через вихідний патрубок 3 виходить в атмосферу. При цьому кількість оболонок 10 може бути різною в залежності від об'єму відпрацьованих газів, що необхідно фільтрувати.

В процесі пуску холодного дизеля і його роботі за негативних температур і для відновлення (регенерації) каталітичних елементів фільтра передбачено електричний нагрівач 9, що встановлений усередині фільтра грубого очищення 8. Після виходу дизеля на робочій температурний режим (або завершення циклу регенерації) електричний нагрівач 9 знеструмлюється.

Для дизелів Д2500.И, ДТ2500.И, Д4000.И, ДТ4000.И проведено дослідження викидів сажі за роботи з пристроєм та без нього, в процесі яких вимірялися питомі викиди токсичних компонентів: CO, CH_x, NO_x і сажі (табл. 2.1). За результатами досліджень можна зробити висновок, що викиди сажі вказаних дизелів з встановленим на них пристроєм значно зменшуються в порівнянні із викидами сажі без використання пристрою.

Таблиця 2.1

Результати використання комбінованого пристрою очищення ВГ дизелів

Питомі викиди сажі, г/(кВт·год)	Марка двигуна			
	Д2500.И	ДТ2500.И	Д4000.И	ДТ4000.И
	Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с.)			
	34 (46)	41 (56)	54 (73)	74 (100)
Без пристрою	0,9	0,6	0,6	0,5
З пристроєм	0,2	0,1	0,1	0,1

Однак, вказаний пристрій потребує удосконалення. На кафедрі «Агроінженерії та технічного сервісу» Поліського національного університету запропоновано шляхи щодо покращення процесу фільтрування сажі у відпрацьованих газах дизелів різної потужності. Розроблено конструкцію комбінованого пристрою для очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі, в основу якого покладено спосіб очищення (математичну модель), яка описує процес осадження частинок сажі на фільтрувальному матеріалі в залежності від температури. Це дозволяє покращити процес фільтрування відпрацьованих газів та збільшити ресурс окисно-відновлювальних каталізаторів шляхом зменшення їх забруднення частинками сажі під час роботи.

Варто відзначити, що даний підхід може використовуватися на будь-яких фільтрах механічного очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі.

2.5. Регенерація фільтрів відпрацьованих газів дизелів

Запропоновано класифікацію засобів і способів регенерації фільтрів твердих частинок [12]. В залежності від фракційного складу твердих частинок відрізняють види процесу регенерації фільтрів [1]:

- періодичне очищення фільтра від накопичених впродовж експлуатації окислюваних фракцій, що є невід'ємною частиною життєвого циклу фільтра (регенерація I роду);
- процес очищення фільтра від накопичених впродовж експлуатації неокислюваних фракцій та продуктів коксування окислюваних фракцій твердих

частинок (регенерація II роду). Процес характеризується більшим періодом між регенераціями (або може бути неперіодичним) і може не входити до життєвого циклу фільтра.

Період роботи фільтра твердих частинок між черговими регенераціями - це тривалість його роботи коли він є пустим (очищеним від твердих частинок) до моменту, коли необхідно здійснити поточну регенерацію, що визначається його відповідними показниками. Така тривалість може бути рекомендована в мотогодинах чи пробігу сільськогосподарської техніки (під навантаженням, або без навантаження), в кількості витраченого палива, виробленої енергії.

Регенерація I роду пов'язана з термокаталітичним або термічним впливом на нього, тобто обробкою фільтрувального елемента відпрацьованими газами підвищеної температури (рис. 2.6.).

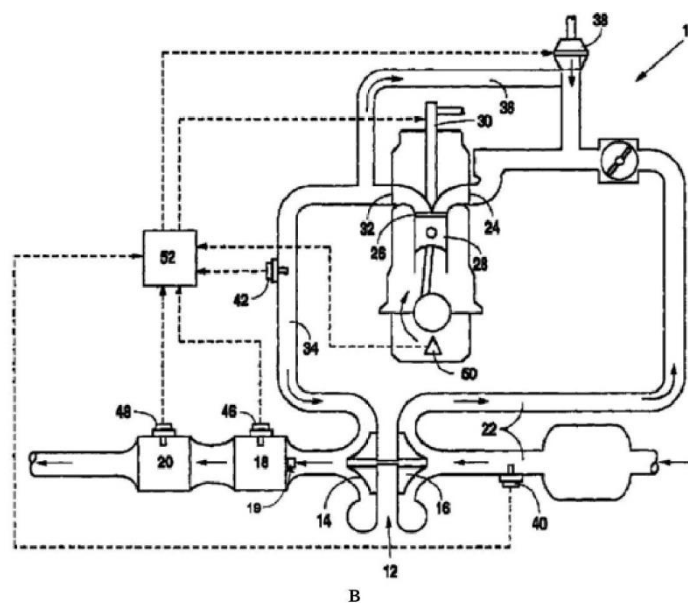
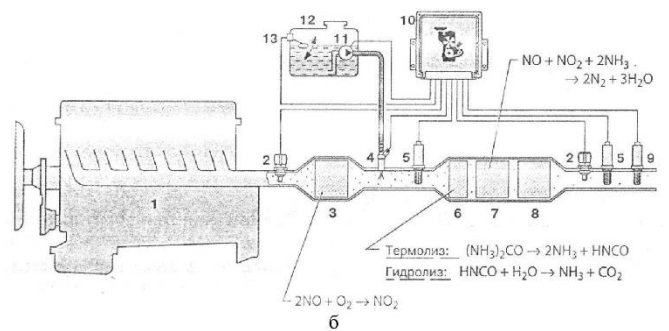
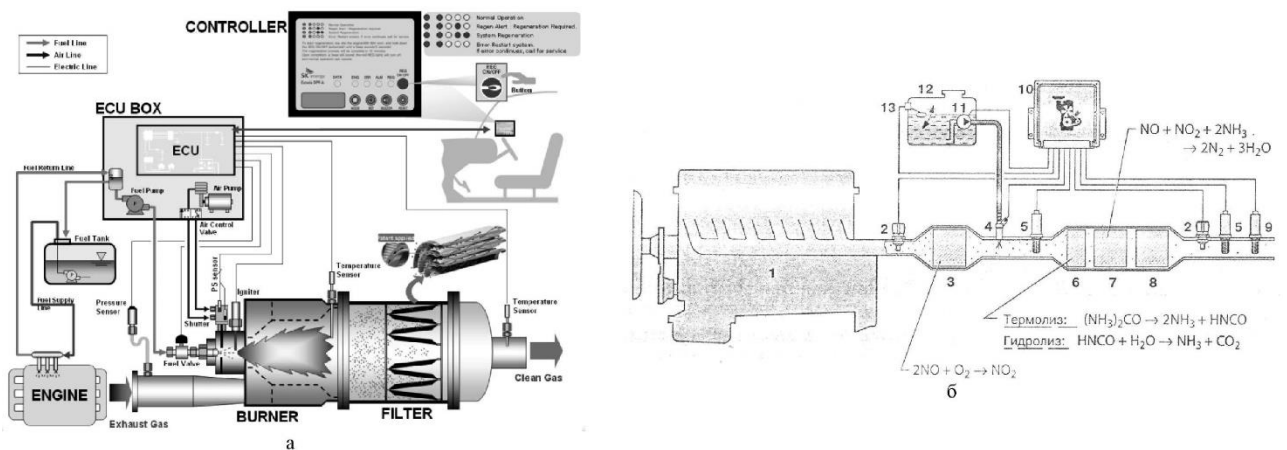


Рис. 2.6. Схема термокаталітичної регенерації I роду фільтра твердих частинок: а). Ecomix-DPF з подачею додаткового повітря; б). Bosch з упорскуванням палива в випускную систему двигуна, без подачі додаткового повітря; в). Engelhart з впорскуванням палива в камеру згорання, без подачі додаткового повітря в випускную систему, з системою рециркуляції відпрацьованих газів

Такий підхід досягається або переведенням дизеля на номінальний режим роботи чи режим максимального крутного моменту, або примусово [1, 2]. Останнє спосіб реалізовано через:

- подачу порцій палива у камеру згорання дизеля на такті розширення та/або випуску та створенням його дифузного горіння у відпрацьованих газах залишковим киснем при проходженні потоку газів через каталітичний окислювач (рис. 2.7., в.) [1, 2]

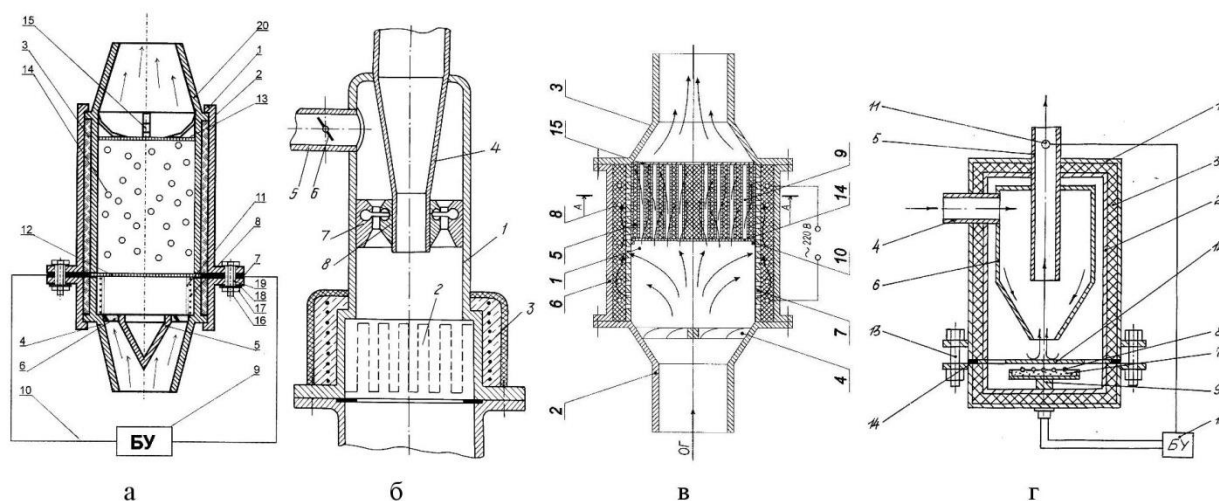


Рис. 2.7. Фільтр з електричними нагрівальними елементами у тепло- та електроізолюваному корпусі: а). без подачі повітря; б). з подачею додаткового повітря в камеру згорання; в). з фільтрувальним елементом металевим; г). з відсіюванням твердих частинок

- подачу палива в окрему камеру згорання в випускному тракті двигуна з наступним дифузним окисленням залишковим киснем з використанням свічок розжарювання, або допалюванням в каталітичному допалювачі з подальшим підтриманням полум'я (рис. 2.7., а), б.) [11, 12];

- використання теплоізоляції корпусу фільтра та електричних нагрівальних елементів, в якості яких як правило використовують свічки розжарювання або ніхромові спіралі у випускному тракті чи у внутрішньої порожнині фільтра з подачею додаткового повітря на фільтрувальний елемент (рис. 2.7., б.) чи без неї (рис. 2.7., а.);
- використання металевих фільтрувальних елементів (рис. 2.7., в.), які застосовують з фільтрами-циклонами (рис. 2.7., г.);
- підвищення водневого числа палива подачею додаткового водню в свіжий заряд [11, 12];
- використання високочастотних випромінювачів, що впливають на відпрацьовані гази для підвищення їх температури з подальшою термічною деградацією вуглеводнів, які адсорбовано сажею [1, 14, 15] (рис. 2.7., в.).

Відомо, що окислення сажі починається при температурах 550-650 °С, або за умови використання каталізаторів при температурах 300-400 °С. Окислення твердих частинок низькотемпературною плазмою або NO₂ відбувається за температур 200-250 °С [1, 2].

В якості присадки до палива для прискорення процесу окислення використовуються Wynns Diesel Power 3 або EOLYS Rhodia, які являють собою 4,2 % розчин оксиду церію, що подається в бак з паливом одноразово в залежності від кількості палива в баку [7]. Вони необхідні для зменшення температури окислювання сажі нижче порогу горіння (до 350 °С), що запобігає пожежі під час регенерації фільтра. При згоранні твердих частинок оксид церію не окислюється, він затримується у фільтрі, що негативно впливає на його ресурс.

Регенерація I роду також поділяють на [11, 12, 16, 18]:

- пасивну (неконтрольована). Вона здійснюється за досягнення певних параметрів відпрацьованих газів, необхідних для початку і підтримання процесу окислення при роботі дизеля на заданих режимах і без участі штатної системи регенерації. Залежно від кількості твердих частинок, що накопичено в фільтрі, цей процес може відбуватись на штатному режимі, коли умови протікання процесу не

викликають негативних наслідків для матеріалу фільтрувального елемента, каталітичного покриття і корпусу фільтра, та аварійному, коли проводиться швидке згорання великої кількості твердих частинок і нерівномірно підвищеної температурі фільтрувального елемента з можливістю виходу на режим температурного руйнування каналів для руху відпрацьованих газів, їх перекриттям або з утворенням пробою фільтрувального елемента, його оплавлення, руйнування покриття, прогару корпусу фільтра тощо.

- примусову (контрольовану), яка відбувається при створенні відповідних параметрів відпрацьованих газів, що необхідно для початку і підтримання процесу згорання твердих частинок в фільтрі. Це відбувається штатними засобами системи регенерації фільтра. Залежно від кількості твердих частинок в фільтрі процес регенерації може проводитись в режимах: штатний - при досягненні розрахункового значення кількості твердих частинок в фільтрі, яке нижче за критичного, однак створює зайвий гідравлічний опір фільтра, вище якого електронний блок керування дизеля сприймає за аварійний режим роботи. Принцип роботи бортової системи регенерації I роду Woodward представлено на рис. 2.8;

- аварійно-штатну, коли при досягненні певного критичного значення розрахункової кількості твердих частинок в фільтрі, при якому є небезпека виходу з ладу його елементів або переривання процесу регенерації, яку все ще можливо здійснити переведенням дизеля на певний особливий режим роботи;

- аварійну, яка схожа на аварійно-штатну, але у випадку, коли здійснення регенерації штатною системою згідно заводських налаштувань блоку керування не є можливою.

Такий режим частіше в експлуатації дизелів пропонується для регенерації фільтрів з вичерпаним ресурсом, фізичним зносом, або для здійснення регенерації

II роду, якщо встановлено, що рівень накопичених нерозчинних фракцій твердих частинок наблизився до критичного.

Примусова регенерація I роду в аварійно-штатному режимі рекомендована у наступних випадках [1, 2, 6, 9]:

- при його початку процесу електронним блоком керування під час проведення технічного обслуговування системи випуску відпрацьованих газів;
- при використанні засобів розчинення, перетворення та перерозподілу в фільтруючому елементі спеціальними засобами;
- промиванням вручну водою під тиском до 1,5 МПа, або проведенням термічної регенерації за допомогою спеціального обладнання.

Наприклад, найбільш розповсюдженню отримала система очищення фільтрів LIQUI MOLY (рис. 2.8, а.), яка містить компоненти:

- рідину-розчинник Pro Line DPF Reiniger;
- промивач-ополіскувач Pro Line DPF Spülung;
- комплект розпилювальних зондів та пістолет-розпилювач.

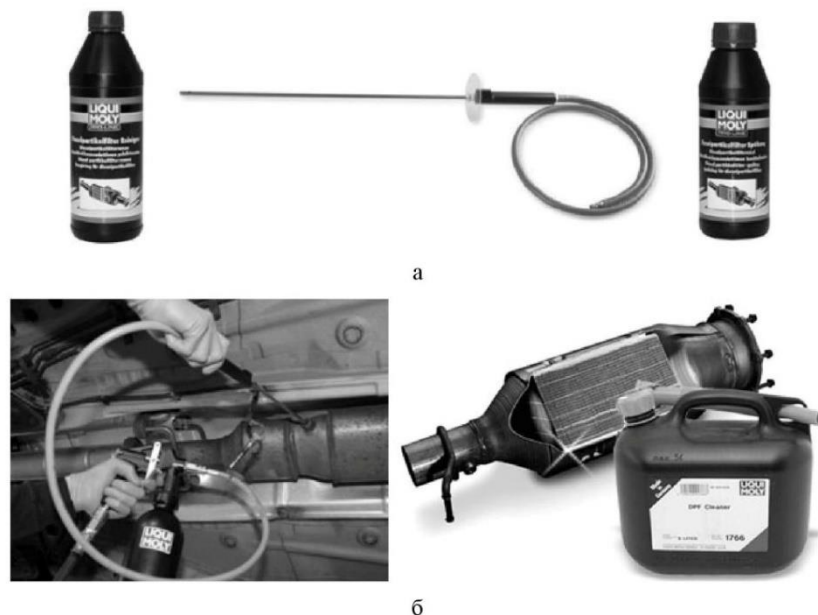


Рис. 2.8. Система LIQUI MOLY примусової регенерації I роду фільтра твердих частинок в аварійно-штатному режимі

Дона система використовується у випадку небажаної або неможливої примусової регенерації фільтра. Рідина-розчинник в кількості 1 дм³ подається в фільтр на фільтруючий елемент спеціальним розпилювачем-пістолетом за 5-10 впорскувань та періодичністю 5-10 с під тиском 0,6-0,8 МПа. Після цього аналогічним способом в фільтр подається промивач-ополіскувач в кількості 0,5 дм³ (рис. 2.8., б.). За атмосферних умов обидві рідини мають властивість активно випаровуватись і далі вони виводяться системою випуску відпрацьованих газів дизеля в атмосферу. Процес необхідно починати на гарячому двигуні відразу після зупинки дизеля. Оскільки реагенти рідин агресивні до матеріалів випускних клапанів і деталей дизеля, необхідно звертати увагу на розташування турбокомпресора і випускного колектору, щоб не пошкодити компресор. Під дією рідини тверді частинки розчиняються і перерозподіляються в фільтрі таким чином, що дає можливість провести його регенерацію в штатному режимі, що рекомендовано проводити при кожній другій заміні моторного масла дизельного двигуна.

Відомі системи з одночасним розчиненням, очищенням та промивкою фільтрів від твердих частинок речовинами, що зберігаються в спеціальних аерозольних балонах. Але, вони мають недоліки:

- низький тиск розпилювання;
- відносно невелика ефективність аварійної регенерації;
- втрата до 30 % реагентів;
- властивості витримувати відносно невеликі температури зонду вимагають зупинку дизеля та охолодження відпрацьованих газів до температури менше за 100 °С;
- відсутність в комплекті ополіскувача.

Примусова регенерація фільтрів сажі І роду також широко використовується на підприємствах промисловості в гірничодобувній галузі де наявність та використання штатної системи регенерації небезпечні (наприклад, в шахті). Для автотранспортних підприємств з парком міського транспорту, будівельних і

дорожніх машин, сільськогосподарської техніки регенерація з зняттям фільтрів твердих частинок з дизеля застосовується досить широко [1, 2].

Усі штатні системи примусової регенерації фільтрів сажі (твердих частинок) вимагають витрати енергії, ускладнюють конструкцію всього двигуна, вимагають наявності системи керування, змінюють алгоритм керування дизелем.

2.6. Класифікація пристроїв очищення відпрацьованих газів

Аналіз існуючих пристроїв очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів від частинок сажі дозволив розробити їх повну класифікацію (рис. 2.6.).

За місцем розташування такі пристрої можна поділити внутрішні та зовнішні. Зовнішні пристрої за способом очищення, що використовується, поділяються на пристрої, які:

- поліпшують властивості паливо-повітряної суміші дизеля;
- активізують процес горіння паливо-повітряної суміші двигуна.

Внутрішні за способом очищення можна поділити на пристрої:

- механічного очищення (за впливом на частинки сажі поділяються на інерційні уловлювачі та пристрої контактної);
- плазмового допалювання;
- хімічного допалювання.
- електричного очищення;

Пристрої очищення відпрацьованих газів в залежності від кількості стадій очищення також поділяються: з однією або з декількома стадіями.

За ознакою споживання енергії з електричної мережі автомобіля (засобу сільськогосподарського призначення) пристрої для очищення відпрацьованих газів дизеля бувають зі споживанням, або без споживання електричної енергії мережі.

За впливом на шумність відпрацьованих газів, що фільтруються, пристрої бувають:

- з лабіринтною системою;
- з резонатором;
- без змінювання показника шуму.

За призначенням щодо очищення пристрої поділяються на ті, що:

- фільтрують тільки дисперсні частинки;
- виконують ще і додаткову функцію (фільтрують рідких домішки; доокислюють оксиди вуглецю і вуглеводні;
- доокислюють оксиди азоту та азот).

За можливою функцією відновлення працездатності фільтри бувають:

- з можливістю заміни і/або очищення фільтруючого елемента;
- разового використання (без очищення);
- з самоочищенням (поділяються на: фільтри з допалюванням електропровідним елементом; з подачею додаткового палива; з подачею додаткового повітря).

З аналізу існуючих пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизелів від сажі (фільтрів) можна зробити висновок, що більш кращі експлуатаційні показники мають комбіновані пристрої (фільтри). Необхідно відзначити, що у «чистому» вигляді пристрої для очищення відпрацьованих газів фактично не існують, оскільки не дають можливості добитися показників очищення, що диктують сучасні вимоги токсичності дизеля. Комбіновані пристрої очищення відпрацьованих газів мають декілька ознак. Це означає, що кожний модуль фільтра пов'язаний з певними перевагами та недоліками.

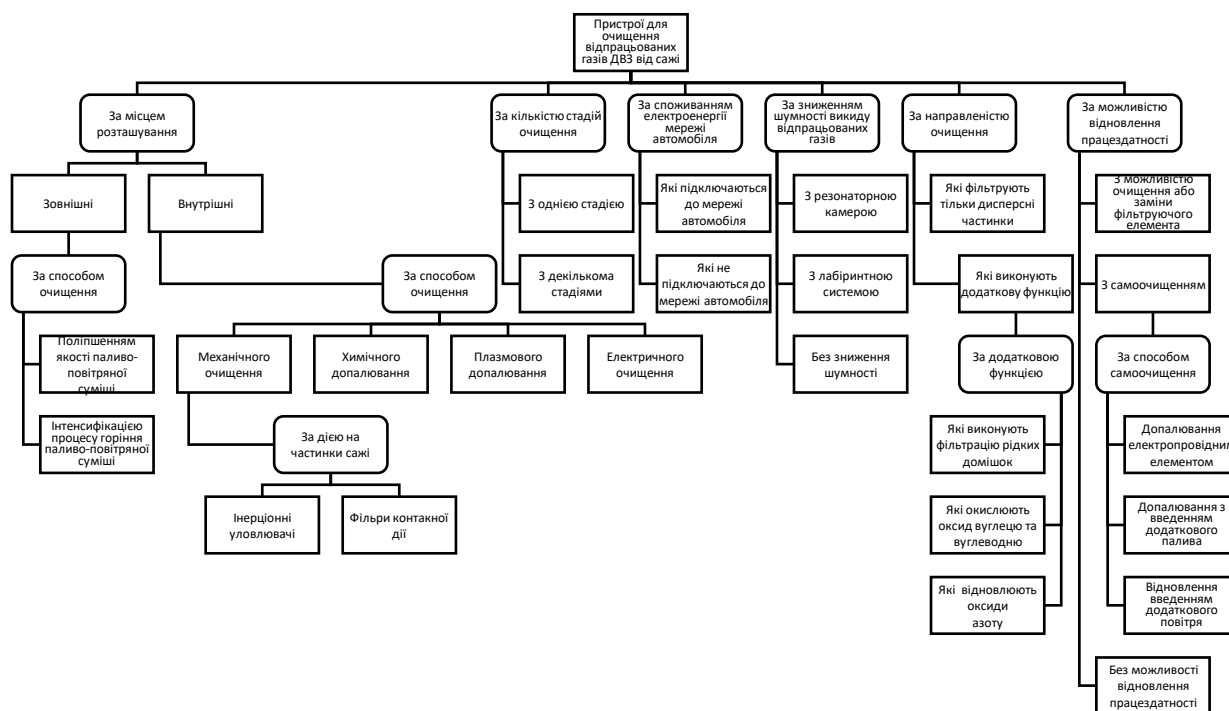


Рис. 2.6. Класифікація фільтрів (пристроїв) сажі

З аналізу рис. 2.6. можна зробити висновок, що велика кількість конструкцій фільтрів частинок сажі утворюється поєднанням різних властивостей та ознак, з врахуванням їх сумісної реалізації в одному пристрої та за умови, максимально економічного і ефективного результату очищення.

Висновки до розділу 2:

1. Розглянуто роботу, особливості конструкції та експлуатації сучасних фільтрів (пристроїв) очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі (допалювання, з механічним сепаруванням, електрофільтрувальні та комбіновані). Показано, що фільтри відпрацьованих газів дизелів з регенерацією фільтрувальних елементів є найбільш перспективними та екологічно привабливими.
2. Розроблено класифікацію фільтрів (пристроїв) для очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі.

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1. Газодинамічний аналіз системи випуску відпрацьованих газів двигуна

Очищення відпрацьованих газів дизеля сільськогосподарського призначення пов'язано з особливостями його експлуатації, зокрема з швидкісними та навантажувальними режимами роботи. Покращення екологічної складової процесу роботи такого дизеля є важливим питанням удосконалення його конструкції та одночасно складним завданням, вирішення якого потребує уваги конструкторів-розробників не дизелів в цілому, але й самих фільтрів.

Для удосконалення існуючих фільтрів, врахування впливу різних впливових факторів на стадії натурних випробувань, стає необхідним проведення аналітичного аналізу їх роботи. Для вирішення такої задачі сьогодні у науковців та інженерів-конструкторів є ряд програмно-апаратних комплексів чисельного моделювання різних фізичних процесів, у тому числі й які мають місце в процесі руху газів.

Пропонується конструкція фільтра для очищення відпрацьованих газів від частинок сажі з використанням пористих фільтрувальних елементів з регулюванням їх температури.

Модель процесу фільтрації розглядається в CFD-Комплексі COSMOSFloWorks, яка дає можливість визначити основні параметри роботи фільтра. Конструкція передбачає можливість регулювання температури в процесі фільтрації сажі в фільтрувальних елементів грубого і тонкого очищення.

Фільтра може бути вбудований в штатну систему випуску відпрацьованих газів дизеля. При цьому можливо передбачити його встановлення замість глушника системи випуску з одночасним виконанням його функцій [17].

Для аналізу роботи за прототип обрано пристрій для очищення відпрацьованих газів дизеля [17]. Для зміни температури фільтрувальних елементів грубого і тонкого очищення пропонується до використання

нагрівальний елемент електричного типу, що в прототипі використовується для проведення процесу регенерації фільтра [18]. Для покращення показників процесу фільтрації проведено газодинамічний аналіз роботи прототипу, за результатами якого запропоновано зміни в конструкцію фільтра (рис. 3.1.).

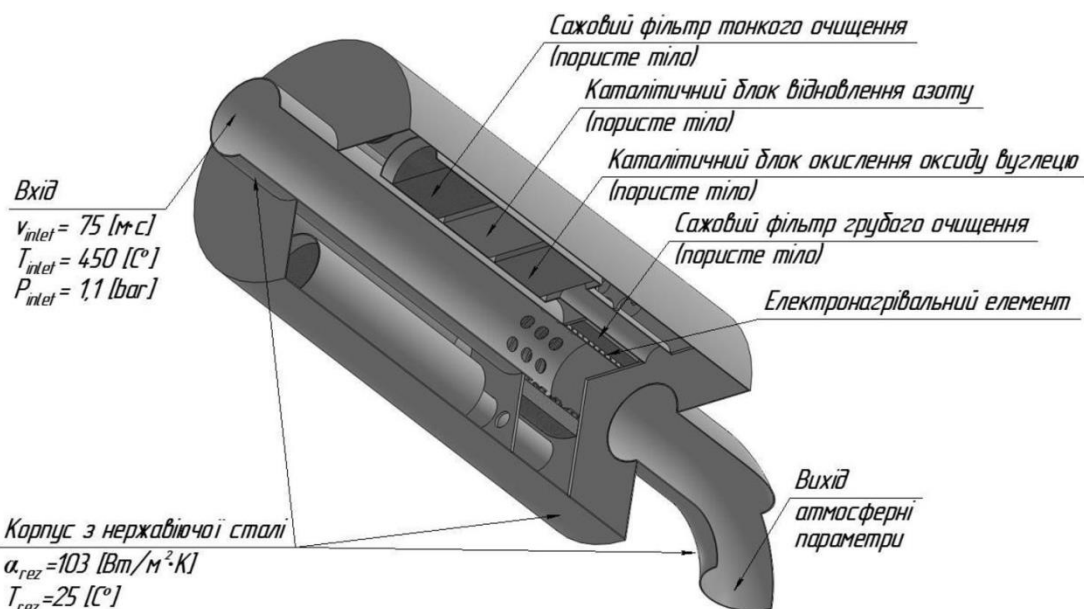


Рисунок 3.1. – Система очищення відпрацьованих газів дизеля в CFD-комплексі COSMOSFloWorks

Для розрахунку параметрів процесів фільтрації в просторі та часі, математичне моделювання було проведено системою диференціальних і інтегральних рівнянь, що описують закони фізики з початковими й граничними умовами.

Системи диференціальних і інтегральних рівнянь, що використовуються в моделі не мають аналітичного розв'язку, вони приводяться до дискретного виду та вирішуються на деякій розрахунковій прямокутній сітці, яка розрізняє області нелінійної поведінки розв'язку даних рівнянь. Саме таке рішення реалізовано в COSMOSFloWorks [19].

В CFD-комплексі COSMOSFloWorks відпрацьовані гази описуються як текуче середовище, теплообмін в якомі та його рух описуються рівняннями Нав'єСтокса, що описують в нестационарній постановці фізичні закони

збереження маси, енергії та імпульсу. Також додатково використовуються рівняння стану компонентів даного середовища, емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності його складових від температури. Для моделювання турбулентного руху відпрацьованих газів рівняння Нав'є-Стокса осереднюються за Рейнольдсом, тобто береться до уваги осереднений за малим масштабом часу вплив турбулентності на потік відпрацьованих газів, а великі за масштабом зміни осереднених за малим масштабом часу складових параметрів потоку (швидкість, тиск, температура) враховуються їх похідними в часі. В результаті саме такого підходу рівняння, що описують весь процес та його параметри, мають додаткові члени - напруги за Рейнольдсом, а для завершення (замикання) даної системи рівнянь в комплексі COSMOSFloWorks використовуються закони переносу кінетичної енергії турбулентності та її дисипації в межах k-ε моделі турбулентності.

Систему рівнянь збереження маси, імпульсу й енергії нестационарного просторового протікання у рамках підходу Ейлера в декартовій системі координат можна подати у вигляді (x_i , $i = 1, 2, 3$):

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} + \frac{d}{dx_k} (\rho u_k) &= 0 \\ \frac{d(\rho u_i)}{dt} + \frac{d}{dx_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{dP}{dx_i} &= S_i \\ \frac{d(\rho E)}{dt} + \frac{d}{dx_k} ((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) &= S_k u_k + Q_H, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де t - час, с;

u - швидкість середовища, м/с;

ρ - густина потоку, кг/м³;

P - тиск середовища, Па;

S_i - зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу середовища, Н;

E - повна енергія одиничної маси текучого середовища, Дж;

Q_H - тепло, виділене тепловим джерелом в одиничному об'ємі текучого середовища, Вт;

τ_{ik} - тензор в'язких напруг зсуву;

q_i - дифузійний тепловий потік, Вт/м²;

Індекси в позначках означають підсумовування за трьома координатними напрямками.

Зовнішні масові сили, Н:

$$S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation} \quad , \quad (3.2)$$

де $S_{iporous}$ - сила опору пористого тіла, Н;

$S_{igravti}$ - сила гравітації, Н;

$S_{irotation}$ - сила обертання системи координат, Н.

Дифузійний тепловий потік в системі описується наступним рівнянням:

$$q_k = - \left(\frac{\mu_1}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) c_p \frac{dT}{dx_k}, \quad (3.3)$$

де $k=1, 2, 3, \dots$

$\sigma_c=0,9$;

Pr – число Прандля;

c_p – питома теплоємність за умови постійного тиску, Дж/(кг·°К);

T – температура середовища, °К.

Для моделювання ламінарного потоку вказана система рівнянь трансформується. При цьому робиться припущення, що $\mu_t=0$ і $k=0$. За допомогою цього моделюється перехід турбулентного потоку в ламінарний і навпаки.

Поряд з дифузією тепла у розробленій математичній моделі враховується теплопередача в твердих стінках і перегородках фільтра та в зовнішній простір. В COSMOSFloWorks теплопередача в твердих тілах описується рівнянням:

$$\frac{dpe}{dt} = \frac{d}{dx_i} \left(\lambda \frac{dT}{dx_i} \right) + Q_H, \quad (3.4)$$

де $e = cT$;

λ - питома теплоємність, Дж/(кг·°К);

T - температура, °K;

Q_n - питома тепловиділення джерела тепла в об'ємі, Вт/м³.

В запропонованому фільтрі відпрацьованих газів (рис. 3.1.) сажа проходить через пористі фільтри і каталітичні блоки. Їх фізичний вплив на проходження крізь них відпрацьованих газів моделюється як розсереджений гідравлічний опір, а саме $S_{iporous}$ і визначається:

$$S_{iporous} = -k\delta_{ij}\rho u_{ij}, \quad (3.5)$$

де k - вектор сили опору пористого тіла.

Вектор сили опору k залежить від фізичних властивостей матеріалу фільтрувального елемента: проникненості та величини гідравлічного опору за напрямками цієї проникненості. В дослідженнях прийнято ізотропна (однакова в усіх напрямках) проникненість матеріалу фільтрувального елемента.

За визначенням слідує, що:

$$k = -\text{grad} \frac{P}{\rho V} \quad (3.6)$$

де P – тиск досліджуваного середовища, Па;

ρ – густина середовища, кг/м³;

V – швидкість середовища, м/с

G_{rad} обирається за напрямками руху середовища тобто за напрямками проникненості. COSMOSFloWorks пропонує різні залежності, що описують визначення вектора сили опору k , для моделювання було обрано:

$$k = \frac{\Delta P S}{m L}, \quad (3.7)$$

де ΔP - перепад тиску між протилежними сторонами пористого тіла в напрямку руху;

m - масова витрата газів у напрямку;

S - площа перерізу; м²;

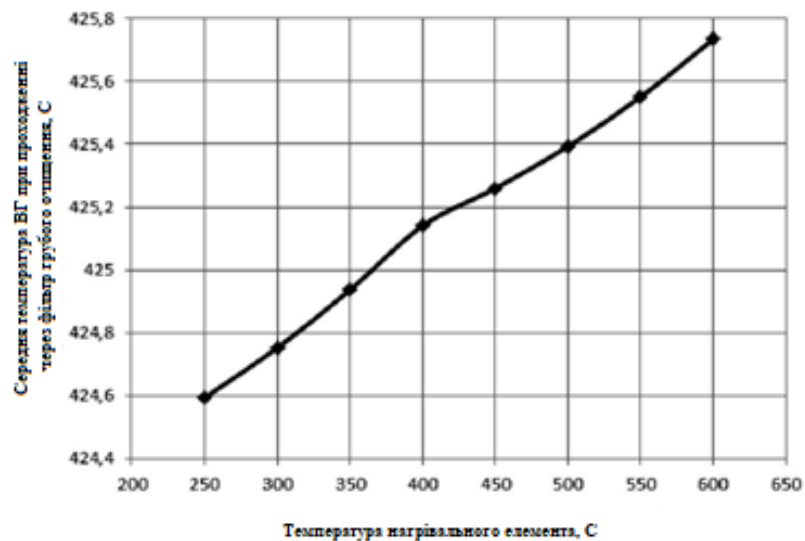
L - довжина пористого матеріалу в напрямку, м.

Величина k задавалася з урахуванням:

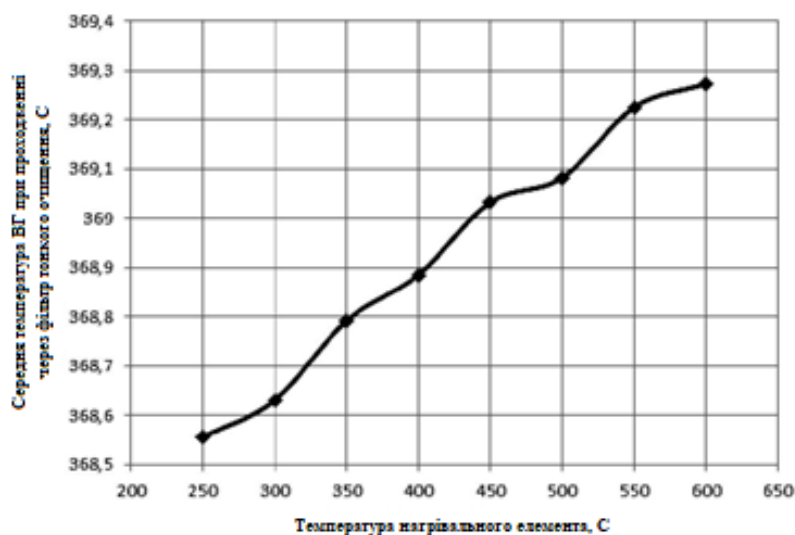
$$\Delta P = f(V), \quad (3.8)$$

де $V = m/P$ - об'ємна витрата газів, м³/с.

На першому етапі в конструкції фільтра відпрацьованих газів було прийнято, що нагрівальний елемент виконаний з дроту та має спіральну форму, який намотаний перед сажовим фільтром грубого очищення. Результати комп'ютерного моделювання роботи такого фільтра наведено на рис. 3.2., де надано залежність температури відпрацьованих газів (сажі) в фільтрах грубого і тонкого очищення від температури нагрівального елемента.



a)



б)

Рис. 3.2. Моделювання роботи фільтра сажі зі спіральним нагрівальним елементом: а). температура відпрацьованих газів в фільтрі грубого очищення; б). температура відпрацьованих газів в фільтрі тонкого очищення

З рис. 3.2 слідує, що в фільтрі відпрацьованих газів дизеля що пропонується, є можливість незначно корегувати їх температуру в процесі проходженні ними обох фільтрів очищення. Тому в подальшому необхідно:

- внести зміни в схему фільтра для примусової затримки відпрацьованих газів у зоні нагрівання;
- збільшити площу контакту відпрацьованих газів з нагрівачем;
- встановити нагрівальний елемент і перед фільтрами тонкого очищення.

Для збільшення площі контакту відпрацьованих газів з нагрівальним елементом пропонується його зробити сітчастої конструкції. Обов'язково треба врахувати, що будь-які зміни в конструкції системи випуску відпрацьованих газів дизеля призводять до зміни її гідравлічного опору, що може негативно вплинути на показники роботи всього двигуна.

Дослідження проведено для нагрівального елемента у вигляді дротової сітки товщиною 2 мм із квадратними гніздами зі стороною квадрата в 2 мм. В

математичній моделі фільтра відпрацьованих газів сітчастий фільтр описується як пористе тіло [19]. Результати моделювання після вказаних змін в конструкції фільтра представлено на рис. 3.3.

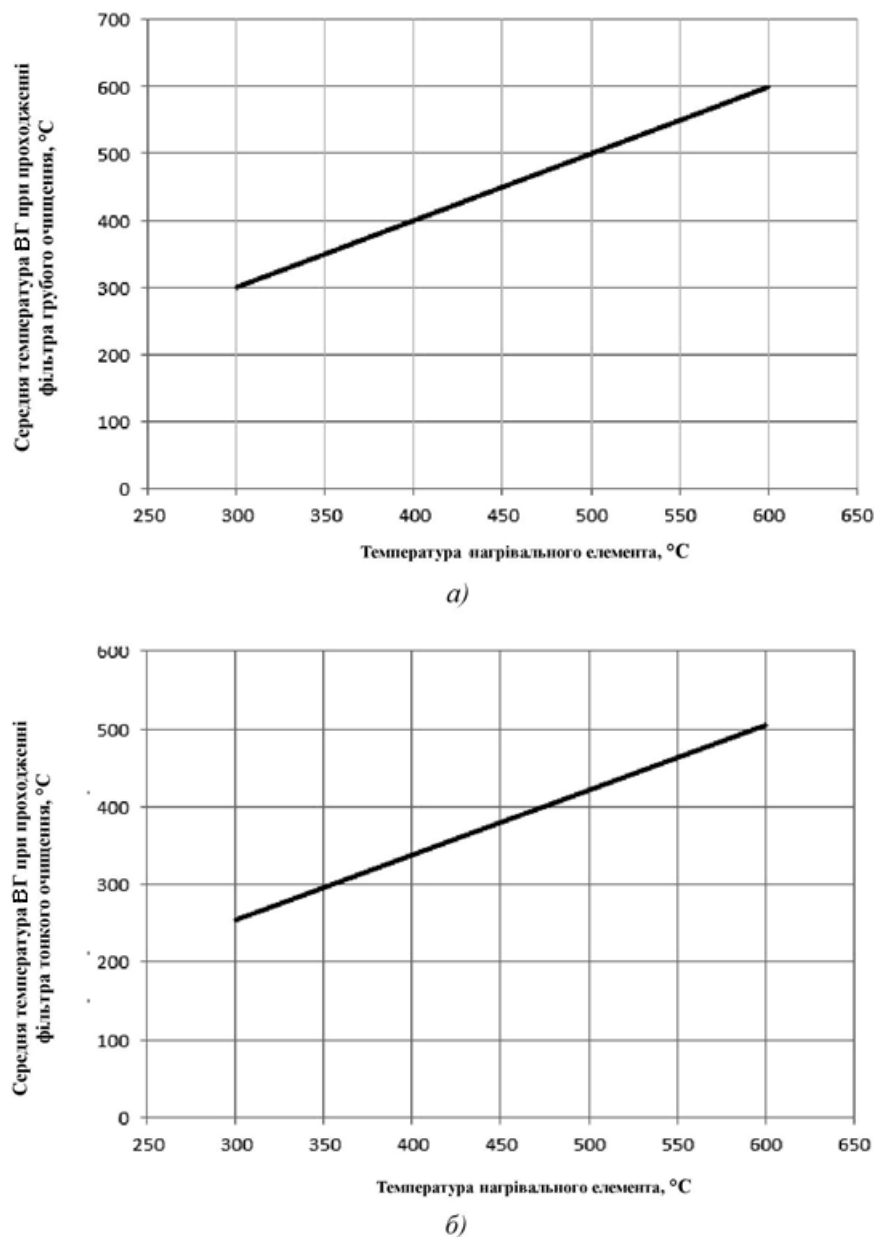


Рисунок 3.3. – Результати комп’ютерного моделювання роботи фільтра з сітчастим нагрівальним елементом: а). температура відпрацьованих газів в фільтрі грубого очищення; б). температура відпрацьованих газів в фільтрі тонкого очищення

Як видно з рис. 3.3, конструкція фільтра з сітчастим нагрівальним елементом дозволяє регулювати температуру відпрацьованих газів в більш широкому

діапазоні, якого імовірно буде достатньо для покращення показників його роботи [17].

За допомогою розробленої моделі системи фільтра відпрацьованих газів в програмному комплексі COSMOSFloWorks в подальшому можна визначити його гідравлічний опір і після цього можна запропонувати зміни конструкції системи випуску в цілому для кожного конкретного двигуна.

3.2. Зменшення вмісту частинок сажі у відпрацьованих газах дизеля

Пропонується спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі. Він належить до галузі двигунобудування і може використовуватись в системах випуску і очищення відпрацьованих газів дизелів різної потужності. Необхідність очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів дизелів від частинок сажі – сучасна екологічна вимога до таких двигунів, яка закріплена законодавчо.

За сукупністю основних ознак найбільш близьким до способу, що розроблений, є спосіб для очищення відпрацьованих газів дизеля [21], що обраний як прототип.

Спосіб-прототип, як і спосіб, що розроблений, передбачає підігрів потоку відпрацьованих газів під дією електричного нагрівального елемента.

Однак, на відміну від запропонованого способу прототип передбачає підігрів газового потоку у випадках: під час пуску холодного дизеля, за негативних температур навколишнього середовища, для регенерації каталітичних та фільтрувальних елементів. В результаті цього ефективність очищення ВГ від частинок сажі низька, оскільки в такому підході не забезпечуються температурні режими сажових фільтрів, в яких осадження сажі відбувається якнайкраще.

Таким чином, недоліком прототипу є відносно низька його ефективність щодо очищення відпрацьованих газів дизельного двигуна від сажі, що знаходиться в них.

В роботі поставлена задача вдосконалення відомого існуючого способу очищення відпрацьованих газів дизельного від частинок сажі через вимірювання

тиску перед фільтром потоку відпрацьованих газів та після фільтра. За вимірною різницею тисків можна обчислити швидкість частинок сажі в газовому потоці, з якої визначають радіальну складову (яка сприяє осадженню).

Після цього для визначеної величини зближення частинок сажі з поверхнею фільтра в момент їх зіткнення розраховують необхідну температуру потоку відпрацьованих газів, при якій відбувається найкраще осадження цих частинок на фільтрі.

Далі вимірюють поточне значення температури потоку відпрацьованих газів, порівнюють її з розрахованим необхідним значенням, та у випадку, що поточна температура потоку відпрацьованих газів буде меншою за розраховану, потік відпрацьованих газів підігрівають до величини розрахованої температури, саме це і забезпечить підвищення ефективності осадження сажі та покращить процес фільтрації.

На величину зближення S частинок сажі з поверхнею фільтра основний вплив здійснюють фактори: температура частинки t та її радіальна швидкість V_x .

Розрахунки доводять, що максимальна площа взаємодії частинки сажі в процесі осадження на поверхню фільтрувального елемента фільтр має місце при зближеннях в межах 30...70 %. При цьому процес проходить без урахування механічного «уловлювання» в порах фільтруючого елемента фільтра. Якщо буде мати місце механічна затримка частинок сажі в порах фільтрувального елемента, то процес фільтрації буде додатково покращений. Значення площ контакту при зближеннях 30...70 % сприяють кращому утриманню частинки сажі на поверхні фільтрувального елемента і покращують весь процес фільтрації [2].

Як правило в загальному випадку частинка сажі відносно поверхні осаджування рухається під деяким кутом. Миттєва швидкість при цьому у векторній формі являє собою суму двох швидкостей (векторів): вздовж поверхні осаджування (осьова швидкість) і та, що перпендикулярна поверхні осаджування (радіальна швидкість). Само радіальна складова швидкості визначає результат взаємодії частинки з фільтрувальною поверхнею, вона сприяє осадженню частинки. За величиною радіальної швидкості V_x частинки, можливо розрахувати

температуру $t_{\text{опт}}$, при якій відбудеться її найкраще зближення $S_{\text{кр}}$ з твердою поверхнею фільтрувального елемента.

Підтримання температури $t_{\text{вг}}$ потоку відпрацьованих газів, яка сприяє найкращому зближенню $S_{\text{кр}}$ та осадженню частинок сажі $t_{\text{опт}}$, та, як наслідок, отримання найкращого її утримання на поверхні фільтра, зменшує ймовірність в подальшого зриву частинок з поверхні фільтрувального елемента фільтра. Одночасно при використанні каталітичного сажового фільтра покращується процес окислювання осаджених частинок.

В такий спосіб досягається основна мета щодо покращення процесу очищення відпрацьованих дизеля від частинок сажі: підвищення ефективності шляхом підтримання оптимальної температури частинок сажі для кращого їх осадження на каталітичному фільтрі.

Запропонований спосіб очищення відпрацьованих газів дизельного двигуна сажі рекомендується проводити в послідовності:

1. Вимірюють тиск відпрацьованих газів перед фільтром і після нього.
2. На основі цих тисків обчислюють радіальну швидкість частинок сажі потоку відпрацьованих газів.
3. Для попередньо прийнятої величини зближення частинок сажі в момент їх зіткнення з твердою поверхнею розраховують температуру частинок, при якій відбувається їх найкраще осадження.
4. Вимірюють поточну температуру частинок сажі газового потоку.
5. Порівнюють поточне значення температури частинок сажі з її оптимальним значенням.
6. За умови, що поточна температура менша за отриману, потік відпрацьованих газів підігрівають, поки поточна температура не зрівняється з оптимальною.

Спосіб, що пропонується, пояснюється кресленням пристрою, що його реалізує (рис. 3.4.).

Пристрій для очищення ВГ дизеля від частинок сажі містить корпус 1, каталітичного типу сажові фільтри грубого очищення 2 та тонкого очищення 3,

електричний нагрівальний елемент 4, датчик температури потоку 5, датчики тисків на вході пристрою 6 і на виході 7, блок керування 8. При цьому виходи всіх датчиків з'єднані з входами блоку керування 8, а вихід нагрівального елемента 4 – з виходом блоку керування 8.

Пристрій очищення ВГ дизеля від частинок сажі працює наступним чином. На основі вимірів значень датчиків тиску на вході та на виході 6, 7 блок керування 8 розраховує радіальну швидкості частинок сажі з урахуванням умов руху (ламінальний або турбулентний). Далі блок керування 8 визначає оптимальну температуру осадження частинок сажі на фільтрі. Поточне значення температури, що визначається датчиком 5, блок керування 8 порівнює з визначеним оптимальним її значенням. Якщо виміряне поточне значення температури менше за оптимальне блок керування 8 дає команду нагрівальному елементу 4 на підігрів газового потоку. Підігрітий потік з частинками сажі послідовно проходить крізь сажові фільтри грубого 2 і тонкого очищення 3, на які відбувається осадження сажі. Наведений процес безперервно повторюється при роботі дизеля.

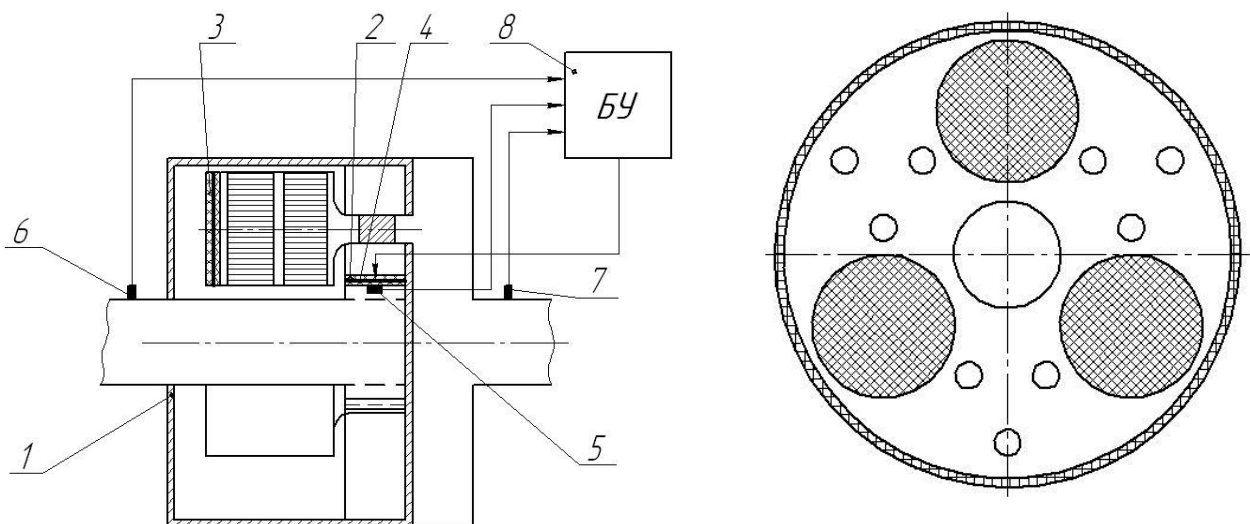


Рисунок 3.4. – Фільтр сажі у відпрацьованих газах дизеля:

1 - корпус; 2, 3 – фільтр грубого і тонкого очищення;

4 - нагрівальний елемент; 5 - датчик температури; 6, 7 - датчики тиску на вході та виході фільтра; 8 - блок керування

Треба зазначити, що даний спосіб має інерційність, оскільки потрібний певний час на зміну температури частинок сажі в потоці відпрацьованих газів. Тому реалізувати властивості даного способу краще на стаціонарних режимах роботи дизеля, що притаманно дизелям сільськогосподарської техніки. Наприклад, дизелі, що працюють велику частину часу на перехідних режимах, можна в цілому очікувати тільки часткове покращення процесу фільтрації сажі у їх відпрацьованих газах.

Висновки до розділу 3:

1. Проведено газодинамічний аналіз фільтра для очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі. Запропоновано новий спосіб очищення відпрацьованих газів, що полягає у вимірюванні їх тиску перед та після фільтра, розрахунку радіальної швидкості частинок сажі в потоці, розрахунку температури частинок сажі, за якої відбувається їх найкраще осадження, порівнянні поточної температури відпрацьованих газів (частинок сажі) з її оптимальним значенням і за необхідності підігріву газового потоку.
2. Запропоновано конструкцію фільтра сажі у відпрацьованих газів дизеля, в якому реалізовано розроблений спосіб фільтрації сажі регулюванням температури частинок сажі.
3. Запропонований спосіб внаслідок своєї інерційності може бути краще реалізований на стаціонарних режимах роботи дизеля, що є характерним для дизелів сільськогосподарського призначення. Для дизелів, що працюють на перехідних режимах, слід очікувати лише часткове покращення процесу фільтрації відпрацьованих газів від частинок сажі.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз протікання процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизельного двигуна. Визначено переваги та недоліки найбільш розповсюджених способів фільтрації, що реалізовано в відомих конструкціях фільтрів: PM (Particulate Matter, Particulate Matrix) - відкритого типу; DPF (Diesel Particulate Filter) - закритого типу; FAP™ ("filtre a particules") - закритого типу з функцією регенерації. Наведено особливості їх експлуатації.
2. Розглянуто роботу пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі (з механічним сепаруванням, плазмового допалювання, електрофільтрувальний та комбіновані пристрої). Визначено, що фільтри відпрацьованих газів дизелів з функцією регенерації фільтрувальних елементів є найбільш перспективними та екологічно привабливими.
4. Розроблено класифікацію пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі.
5. Засобами комп'ютерного моделювання проведено газодинамічний аналіз фільтра відпрацьованих газів дизеля, що розроблено. Запропоновано спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі, що полягає в вимірюванні їх тиску перед фільтром та після нього, розрахунку радіальної швидкості та температури частинок сажі, при якій відбувається найкраще їх осадження на поверхні фільтрувального елемента, порівнянні поточної температури частинок сажі з її розрахованим значенням і за необхідності підігріву газового потоку.
6. Запропонований спосіб внаслідок своєї інерційності краще реалізується на стаціонарних режимах роботи дизеля. Для дизелів, що працюють на перехідних режимах, можна очікувати часткове покращення процесу фільтрації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Классификация обеспыливающих устройств и характеристика их действия [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://promventil.ru/klassifikaciya-obespylivayushhix-ustrojstv-i-xarakteristika-ix-dejstviya.html>
2. Сажевый фильтр с каталитическим покрытием. Устройство и принцип действия: пособие по программе самообразования. – М.: ООО “ФОЛЬКСВАГЕН Групп”, 2005. – 36 с.
3. Пат. 2023175, МПК F01N3/02, B01D45/14. Устройство очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Карминский В.Д., Соломин В.А., заявитель Институт инженеров железнодорожного транспорта; патентообладатель Карминский В. Д., Соломин В. А. – № 4928455/06 ; заявл. 18.04.1991 ; опубл. 15.11.1994. – 4 с.: ил.
4. А. с. 1460368 СССР МКИ4 F 01 J 3/08 Способ нейтрализации отработавших газов двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления [Текст] / Г.Ф. Романовский, Ю.А. Шаповалов (СССР). – № 4270109/25-06 ; заявл. 31.03.87 ; опубл. 23.02.89, Бюл. № 7. – 3 с. : ил.
5. А. с. 1404664 СССР МКИ4 F 01 N 3/08 Способ очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания [Текст] / В.Д. Дудышев, В.И. Деженин (СССР). – № 3926866/25-06 ; заявл. 02.07.85 ; опубл. 23.06.88, Бюл. № 23 – 2 с. : ил.
6. Пат. 2267618, МПК F01N3/033, Способ очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления [Текст] / Мазалов Ю.А., Меренов А.В., Кобец В.А. (BY), Илюкович А.А. (BY) ; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "НОВОТОРГ" (RU). – № 2004113388/06 ; заявл. 30.04.2004 ; опубл. 10.01.2006. – 12 с.
7. Регенерация фильтров твердых частиц дизелей / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.А. Вамболь // Двигатели внутреннего сгорания. -№ 1. - Харків: НТУ «ХПИ», 2014. - С. 89-95.
8. Регенерация фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.А. Вамболь, А.Н. Авраменко // Двигатели

внутреннего сгорания: Всеукр. научн.-техн. журнал. - Х.: НТУ «ХПИ», 2015. - № 2. - С. 76-81.

9. Регенерація фільтрів твердих частинок дизелів як аспект екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Частина 1 / О.М. Кондратенко, О.П. Строков, С.О. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. - 2014. - Вип. 6/2014 (98), част. 1. - С. 158-165.

10. Автомобіль та навколишнє середовище / П.М. Каніло, І.С. Бей, О.І. Ровенський - Харків: Прапор, 2001. - 304 с.

11. BOSCH. Автомобильный справочник: перевод с английского / Robert Bosch GmbH. - М. : ЗАО «За рулем», 2002. - 886 с.

12. Исследование термokatалитической регенерации сажевого фильтра дизелей / Ю.И. Шеховцов, Л.С. Заиграев // 2004. - № 2. - С. 56-59.

13. Twigg M.V. Advanced Exhaust Emissions Control. A sélective review of the Détroit 2000 SAE World Congress // Platinum Metals Review. - 2000 - № 44 (2). - PP. 67-71.

14. Бразовский В.В. Исследование процессов многоступенчатой очистки// ЭФЖ. - 2008. - С. 26-34.

15. Спосіб очищення ВГ ДВЗ від частинок сажі : пат. 97611 Україна, МПК F01N 3/027 (2006.1), F01N 3/033 (2006.1) / Ільченко А.В., Балюк В.Ю.; заявник і патентовласник Житомирський державний технологічний університет. - № а201106793 ; заявл. 30.06.2012 ; опубл. 26.12.2012. - 3 с.

16. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. - СПб.: Петербург, 2009. - 104 с.

17. Патент РФ №2 267 618, МПК F01N 3/033. Способ очистки отработавших газов двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Ю.А. Мазалов, А.В. Меренов, В.А. Кобец, А.А. Илюкович. – № 204113388/06; Заявл. 30.04.2004; Опубл. 10.01.2006, Бюл. №1.

18. <http://econixdpf.com>

19. Ільченко А.В. Математична модель відкладання сажі у випускному тракті двигуна автомобіля // Вісник ЖДТУ. – 2006 – №3(38). – С. 20-23.