

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів і транспортних технологій**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

**Тема: «РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ
ДИЗЕЛЯ ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ САЖІ»**

Виконав:

ст. групи ЗАГ–21м Михайло КУДИНСЬКИЙ

Керівник:

к.т.н., доц. Андрій ІЛЬЧЕНКО

Завідувач кафедри:

к.т.н., доц. Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:

Дмитро Бегерський

Житомир 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «магістр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

«12» 02 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня магістр

Кудинського Михайла Володимировича

1. **Тема роботи:** «Регулювання температури відпрацьованих газів дизеля як спосіб покращення фільтрації сажі» затверджена наказом вищого навчального закладу від «12» лютого 2023 року № 464/с
 2. **Керівник роботи:** к.т.н., доц. Андрій ІЛЬЧЕНКО
 3. **Строк подання студентом завершеної роботи:** 20.06.2023 р.
 4. **Вихідні дані до роботи:** нормативно-правова документація; дані, що зібрано під час проходження переддипломної практики; власні розробки та пропозиції.
 4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** Вступ, формулювання мети і постановка задач роботи. 1. Аналіз існуючих процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизелів. 2. Фільтри дизелів очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі. Загальні висновки. Список використаних джерел.
- Дата видачі завдання 10 лютого 2023 року.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «магістр» присвячена покращенню процесу фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизельного двигуна регулюванням їх температури.

В першому розділі проведено аналіз існуючих процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизелів, детально розглянуто фізичний процес **очищення відпрацьованих газів від частинок сажі, наведено характеристики найбільш розповсюджених сажових фільтрів.**

Другий розділ присвячено конструкціям пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі: з механічним сепаруванням, плазмовим допалюванням, комбінований та електричний фільтрувальний пристрій. Розглянуто процес регенерації фільтрів твердих частинок відпрацьованих газів дизелів.

В третьому розділі запропоновано удосконалення фільтра сажі дизельного двигуна, яке полягає в зміні температури частинок сажі перед фільтром, що впливає на фізичний процес їх осаджування. Засобами комп'ютерного моделювання проведено газодинамічний аналіз системи очищення відпрацьованих газів дизеля.

В кінці роботи зроблено загальні висновки про можливості покращення процесу фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизеля зміною їх температури, що впливає на процес осаджування сажі на фільтруючих елементах.

Ключові слова: автомобіль, дизельний двигун, відпрацьовані гази, сажа, фільтр грубого очищення, фільтр тонкого очищення, температура сажі

ABSTRACT

The qualification work of the educational degree "master" is devoted to the improvement of the process of filtering soot in the exhaust gases of a diesel engine by regulating their temperature.

In the first chapter, an analysis of the existing processes of filtering soot in the exhaust gases of diesel engines is carried out, the physical process of cleaning the exhaust gases from soot particles is considered in detail, and the characteristics of the most common soot filters are given.

The second section is devoted to the designs of devices for cleaning diesel exhaust gases from soot particles: with mechanical separation, plasma afterburning, combined and electric filtering devices. The process of regeneration of particulate filters of diesel exhaust gases is considered.

In the third section, the improvement of the soot filter of a diesel engine is proposed, which consists in changing the temperature of soot particles in front of the filter, which affects the physical process of their deposition. A gas-dynamic analysis of the diesel exhaust gas cleaning system was carried out using computer simulations.

At the end of the work, general conclusions are made about the possibilities of improving the process of filtering soot in diesel exhaust gases by changing their temperature, which affects the process of soot deposition on filter elements.

Key words: car, diesel engine, exhaust gases, soot, coarse cleaning filter, fine cleaning filter, soot temperature.

ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРАЦІЇ САЖІ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛІВ	
1.1. Очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів від частинок сажі	
1.2. Характеристики сажових фільтрів	
Висновки до розділу 1	
РОЗДІЛ 2. ФІЛЬТРИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВЗ ВІД ЧАСТИНОК САЖІ	
2.1. Фільтр з механічним сепаруванням	
2.2. Пристрій плазмового допалювання	
2.3. Електрофільтрувальний пристрій	
2.4. Комбіновані пристрої очищення	
2.5. Регенерація фільтрів твердих частинок відпрацьованих газів дизелів	
Висновки до розділу 2	
<i>РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРА САЖІ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА</i>	
3.1. Газодинамічний аналіз системи очищення відпрацьованих газів дизеля	
3.2. Спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі	
Висновки до розділу 3	
Висновки	
Література	

ВСТУП

Актуальність дослідження. Очищення відпрацьованих газів (ВГ) двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), 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 очищення ВГ дизельних двигунів від частинок сажі за допомогою сажових фільтрів.

Предметом дослідження є сажовий фільтр ВГ дизеля.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРАЦІЇ САЖІ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛІВ

1.1. Очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів від частинок сажі

Природа являє собою цілісну систему з великою кількістю збалансованих зв'язків. Порушення цих зв'язків призводить до змін сталих процесів кругооберту енергії та речовин. Сьогодні суспільством у споживання залучається велика кількість речовин та енергії, яка в багато разів разів перевершує його біологічні потреби.

Виробнича діяльність людства пов'язана з використанням різних ресурсів, які охоплюють фактично всі відомі та штучно створені хімічні елементи. Високий рівень і швидке зростання антропогенного навантаження на навколишнє середовище є головною причиною сучасного екологічного стану навколишнього середовища, його кризи. Самі гострі проблеми цієї кризи проявляються і пов'язані зі станом атмосфери, гідросфери й літосфери землі.

Сьогодні зменшення токсичних речовин в атмосферному повітрі, які активно виділяються автомобільним транспортом та промисловими підприємствами, є однією з найважливіших проблем для людства. Забруднення повітря дуже активно впливає на людину, тварин й все навколишнє середовище. Матеріальні збитки, що викликаються забрудненням повітря, можна оцінити наближено, навіть за неповними даними, вони вже є досить великими.

В той же час сьогодні існування людства немислиме без автомобільного транспорту. Але, при інтенсивній урбанізації, появі і рості великої кількості мегаполісів автомобільний транспорт став несприятливим екологічним фактором для здоров'я людини й всього природного середовища в містах.

Можна стверджувати, що сьогодні автомобіль став конкурентом людини в життєвому просторі.

Автомобіль, поглинаючи кисень, одночасно з цим інтенсивно забруднює повітря багатьма токсичними компонентами, в тому числі й сажею.

Одним з компонентів у складі ВГ дизеля автомобіля є сажа. Вона являє собою аморфне тіло без кристалічних решіток. У ВГ дизельного двигуна сажа складається з частинок розмірами 0,3...100 мкм.

Утворення сажі відбувається внаслідок енергетичних умов в циліндрі дизельного двигуна. Внаслідок таких умов молекула палива руйнується не повністю. Більш легкі атоми водню дифундують в шар насичений киснем, окислюються і не дають іншим вуглеводневим атомам контактувати з киснем.

Сажа - дисперсний вуглецевий продукт неповного згорання або термічного розкладання вуглеводнів, що складається зі сферичних частинок чорного кольору. Середній розмір сажових частинок 100-3500 Ангстрем (1 Ангстрем= 10^{-7} мм). Частинки сажі утворені з шарів вуглецевих атомів, подібних верствам в графіті. Поверхня частинок сажі може бути шорсткою або гладкою.

Сажа, що утворюється при роботі двигунів внутрішнього згорання, викидається разом з продуктами горіння в атмосферу у вигляді шкідливих димів. Сажа, особливо злиплі в більш великі частки, є сильним канцерогеном. Вона може сприяти виникненню різного роду алергічних реакцій організму людини. Сажеві частки в нормальних умовах не взаємодіють з киснем повітря і тому видаляються тільки за рахунок процесів осадження та/або подальшого допалювання до стану CO_2 , які йдуть дуже повільно. Тому для збереження здоров'я людини необхідний жорсткий контроль за повнотою згорання палива.

Вплив частинок сажі на організм людини в науковій літературі описано ще не повністю. Але відомим є факт, що перебуваючи у зваженому стані,

частинки сажі абсорбують на своїй поверхні такі канцерогенні речовини, як наприклад, бенз(а)пірен, який є надзвичайно небезпечним для організму людини. В зв'язку з цим норми викидів сажі у ВГ постійно стають жорсткішими.

Розроблено велику кількість способів та пристроїв для вирішення питань зниження концентрації сажі у ВГ дизелів як автомобілів так і промисловості в цілому. Сьогодні стає необхідним аналіз та класифікація таких пристроїв з визначенням їх позитивних і негативних властивостей, що в подальшому дасть змогу покращити процес очищення ВГ дизелів від сажі.

На другому місці після дизелів автомобілів забруднювачем атмосфери є промисловість. До складу її викидів входить не тільки сажа, а також велика кількість інших зважених частинок, яка створює пил.

Факти спроб обмежити забруднення повітря великих міст відносяться до початку середніх віків. Законодавчі заходи того часу, що створювались під тиском громадськості, тривалий час носили паліативний характер. На початку промислового виробництва в XIX столітті клуби диму і пилу, що надходили з фабричних труб й обплутували завісою міста, розглядалися як індекс виробництва й сприймалися як факт процвітання міццевості. В результаті стрімкий розвиток промисловості зі стихійним в багатьох випадках розміщенням промислових підприємств вже в середині позаминулого століття приводило до створення для людей зовсім нестерпних умов щодо чистоти повітря. З часом законодавство почало обмежувати граничну концентрацію сажі і пилу в викидах, що вплинуло на стан атмосферного повітря.

Зі зростанням обсягів промислового виробництва зростала абсолютна кількість дисперсного матеріалу, що надходив в повітря. Цей факт, а також складність контролю над дійсною забрудненістю через недосконалість

пристроїв для уловлювання, сприяв великим неконтрольованим обсягам забруднень атмосферного повітря.

При вмісті 130 мг сажі в 1 м³ відпрацьованих газів, вони стають видимими, при вмісті 600 мг в 1 м³ приймають колір середньої чорноти. Дослідження показали, що більшість часток сажі, відфільтровуються з чорного диму (87-98 %) та мають розміри і 0,04-0,50 мкм. У свою чергу вони складаються з більш дрібних часток розміром 0,015-0,170 мкм. Форма часток кругла і овальна. Окремі частки збираються в групи з двох, десяти і більше, іноді формуючись в ланцюжки, що включають до 30 часток, або збираючись в масу з 100 - 1000 часток.

Розподіл часток сажі у відпрацьованих газах двигуна за розмірами представлений на рис. 1.1. Питома поверхня всіх часток сажі не перевищує 75 м²/м. Оскільки видимі ВГ мають вміст 130 мг сажі на 1 м³ газу, то це означає, що в тому ж об'ємі є поверхня для можливого осадження на ній канцерогенних речовин до 10 м², а для ВГ середньої чорноти, що відпрацьовали - до 45 м², тому автомобільна сажа небезпечна не тільки як механічний забруднювач легенів людини, але і як активний переносник канцерогенних речовин.

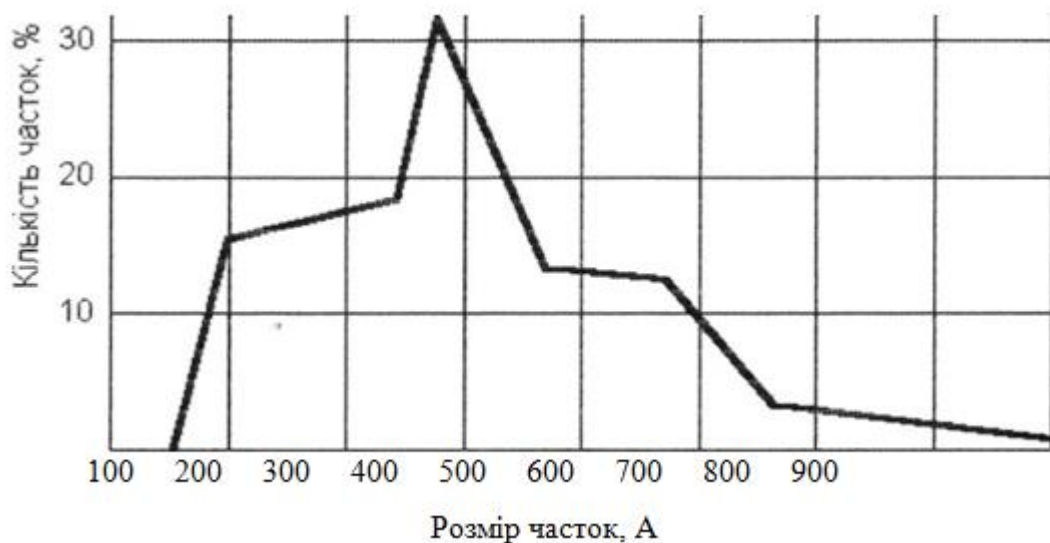


Рис. 1.1. Розподіл частинок сажі, що містяться в ВГ двигуна за розмірами

Відомий перший патент на конструкцію пиловловлювача-циклона. Він був виданий в 1880 році. Перший діючий електричний фільтр був побудований тільки в 1906 році. На даний момент існують і застосовуються на практиці велика кількість пристроїв для очищення промислових викидів, дія яких заснована на використанні різних фізичних явищ. За принципом дії всі пристрої для очищення повітря можна поділити на групи: гравітаційні, електричні, інерційні (сухі та мокрі), контактної дії [1].

Оскільки дисперсні частинки поглинаються рідкими плівками або відокремлюються при промиванні газів рідинами, існує багато різновидів «мокрих» фільтрів.

Гравітаційні пристрої побудовані на принципі використання гравітаційних сил (сил ваги), що зумовлюють осідання дисперсних часток. На цьому принципі працюють камери пилоосадження.

В інерційних вловлювачах (сухих та мокрих) використовують інерційні сили, що створюються в процесі зміни напрямку руху забрудненого повітряного потоку. До них відносяться різні циклони, відцентрові скруббери, циклони-промивачі, струминні вловлювачі типу ротоклон і вловлювачі Вентурі.

Вловлювачі та фільтри контактної дії захоплюють дисперсні частинки при проходженні забрудненого повітря через пористі матеріали (сухі або мокрі): тканину, синтетичні волокна, папір, дротяну сітку, зернисті матеріали, кераміку тощо.

Електричні вловлювачі й фільтри очищають повітря від зважених у ньому часток (пил, туман, сажа) шляхом їх іонізації і осадженні при проходженні через сильне електричне поле.

Пристрої для фільтрації механічних домішок в газах (рис. 1.2) мають свою область застосування залежно від дисперсного складу часток, які вловлюються.

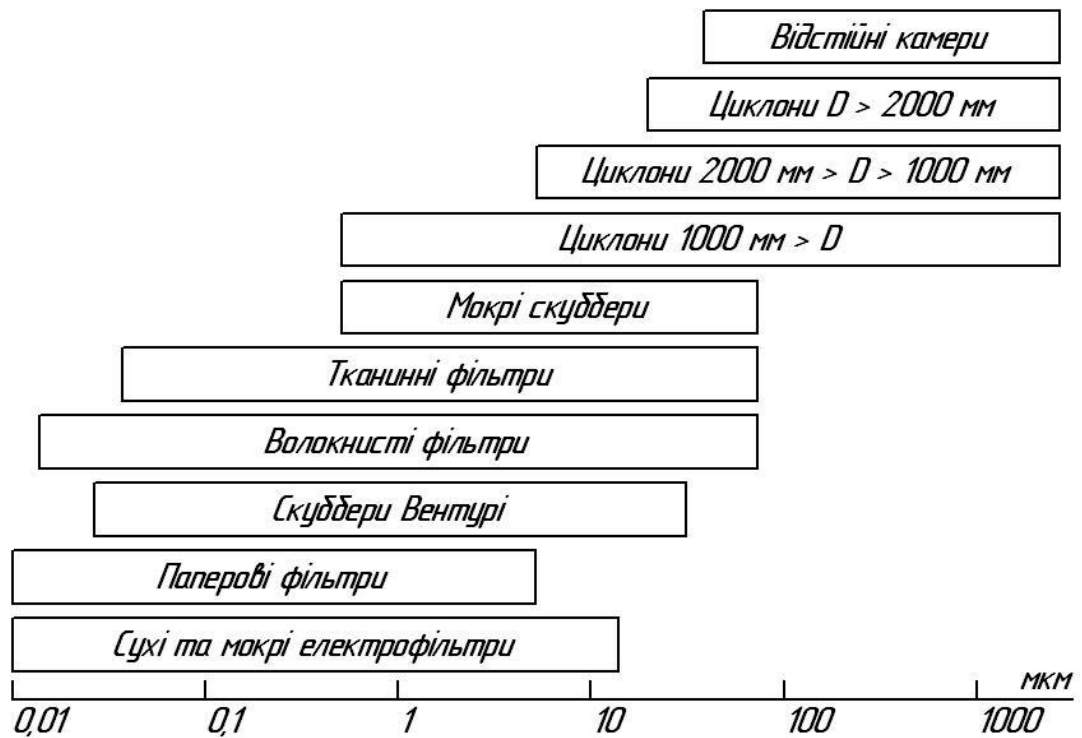


Рис. 1.2. Діапазон застосування різних пристроїв для фільтрації повітря в залежності від розміру дисперсних часток

Звертає на себе увагу факт, що для фільтрації вискодисперсних аерозолів (частинки менше 1 мкм) використовуються в основному фільтри контактної дії. Такі пристрої вимагають періодичної заміни фільтруючого елемента й розраховані на малі концентрації дисперсної фази при малій швидкості фільтрації. Це пояснює їх порівняно малу продуктивність та високі витрати в процесі використання. Суттєвими недоліками таких фільтрів є зміна в часі продуктивності, гідравлічного опору й, відповідно, ефективності фільтрації. Тому не завжди в процесі експлуатації можливо об'єктивно оцінити їх продуктивність. Крім того існують труднощі очищення фільтруючого елемента від осаджених аерозольних частинок, а також особливості їх експлуатації при вловлюванні аерозолів з отруйними, радіоактивними, пожеже небезпечними та іншими шкідливими та небезпечними речовинами.

Електричні фільтри мають відносно невеликий гідравлічний опір, високу ефективність фільтрації та надійність роботи. Для покращення процесу фільтрації частинок менше 1 мкм необхідна підготовка газів перед пропусканням через даний фільтр: грубе очищення, зволоження, охолодження, а в де-яких випадках і укрупнення зважених частинок, що в свою чергу ускладнює процес фільтрації.

В практиці електростатичного осадження доіедено, що сучасні фільтри даного принципу дії не можуть забезпечити ефективність фільтрації близьку до 100 %. Це пов'язано з тим, що не всі дрібні частки досягають електродів-осаджувачів через невисоку швидкість їх дрейфу та турбулентність газового потоку, а великі частинки легко зриваються з місця осадження потоком. Слід зазначити, що деякі речовини мають не мають властивості електризуватись і при цьому повністю виключається можливість їх ефективного вловлювання в даних фільтрах. Такою речовиною є активна сажа, що має малу відносну вагу та малий питомий електричний опір.

Таким чином є доцільним в процесі підготовки потоку перед електрофільтрами проводити осадження крупних частинок простим способом, наприклад, на фільтрах мокрого типу, які останнім часом отримали розвиток і удосконалення.

Фільтри мокрого очищення мають наступні переваги. По-перше, вони мають більш високу ефективність фільтрації дисперсних частинок у порівнянні із сухими механічними. Деякі типи мокрих фільтрів (скруббери Вентурі) можуть використовуватись для часткового уловлювання високодисперсних частинок.

По-друге, мокрі фільтри можуть не тільки успішно конкурувати з високоефективними волокнистими та тканинними, але й використовуватися в умовах високих температур, підвищеній вологості, при небезпеці загоряння й вибуху частинок, що фільтруються.

По-третє, фільтри мокрого очищення одночасно зі зваженими частинками можуть уловлювати паро- та газоподібні компоненти.

Недоліками даних фільтрів є їх технічна складність й необхідність додаткового рідинного фільтрування робочого тіла.

В багатьох випадках вибір конструкції фільтра визначається обсягами газу, що очищається. Наприклад, фільтри з матерії та електрофільтри обґрунтовані до застосування, коли вартість частинок, що вловлюються, окупає витрати на їх використання. Треба зазначити, що дані фільтри мають суттєвий недолік - велики габарити.

1.2. Характеристики сажових фільтрів

Практично на всіх дизельних двигунах сучасних автомобілів використовують сажеві фільтри. Він необхідний для фільтрації частинок сажі у ВГ дизеля, які мають місце у випадку неповного згорання палива.

Фільтр сажі представляє собою жаростійку пористу структуру, осередки якої малі і затримують у "клітинках" сажеві "зерна". Але при цьому настає момент, коли основна кількість осередків сажового фільтра буде закупореною частинками сажі. Циліндри двигуна погано очищуються, погіршується наповнення циліндрів, падає потужність двигуна, швидкість автомобіля.

Це є однією з причин упереджень до сучасного дизельного двигуна, наслідком яких стала невелика поширеність легкових автомобілів з дизелями. Також відомо, що власники сучасних дизельних легкових автомобілів скаржаться на проблеми, пов'язані із засміченням сажового фільтра. Подальший аналіз показує, що більшості проблем можна було уникнути через правильну експлуатацію автомобіля, пов'язану з сажевим фільтром. Сажеві фільтри сучасних дизельних двигунів поділяються на групи:

- FAP™ ("filtre a particules"), фільтри закритого типу з функцією регенерації (ФЗР);

- PM (Particulate Matter, Particulate Matrix), фільтри відкритого типу (ФВ);
- DPF (Diesel Particulate Filter), фільтри закритого типу (далі ФЗ).

ФВ краще віднести не стільки до фільтрів, скільки до вловлювачів частинок сажі. Вони мають форму "равлика", яка згорнута з чергуються між собою гладким та гофрованим шарами жаростійких металів. Кераміка в ФВ не застосовується. Цей тип сажевих фільтрів називається "відкритим" унаслідок того, що кожен "гофр" можна розглядати як відкриту з двох сторін металеву трубку з внутрішнім отвором діаметра близько 0,05-0,1 мм. Спалювання частинок сажі до стану CO_2 в ФВ відбувається за рахунок хімічної реакції з двоокисом азоту NO_2 під впливом власної температури відпрацьованих газів двигуна.

Такий фільтр дозволяє утримати близько 50 % частинок сажі. Можна стверджувати, що ФВ вдвічі скорочує кількість шкідливих викидів.

В процесі експлуатації такого фільтра не потрібна складна електронна система для контролю параметрів його роботи, він має відносно низьку схильність до засмічування. Процес регенерації фільтра також досить простий, для відновлення ФВ достатньо зняти фільтр і промити спеціальним розчином.

Фільтр характеризується низькою швидкістю хімічних реакцій допалювання частинок сажі, особливо в умовах холодного і вологого клімату. Також немає можливості застосування систем контролю за станом ФВ. Схильність ФВ до вигорання металевої "клітковини", особливо, у випадках застосування палива низької якості, несправності системи впорскування палива або газорозподільного механізму двигуна.

Процес регенерації вимагає його демонтажу, що є досить трудомістким процесом.

Основою ФЗ є елемент, який називають реактор. Матеріал реактора - це пористий карбід кремнію (кераміка). Він має структуру, яка складається з

закритих мікроканалів (діаметр 0,08-0.1 мм), сукупність яких утворює мікроклетчатку.

Частинки сажі, що потрапляють з відпрацьованими газами двигуна в мікроканали, осідають і утримуються на його стінках, а очищені гази, виходять крізь пори керамічних стінок назовні. Таким чином досягається уловлювання до 90 % частинок сажі різного розміру.

ФЗ мають систему контролю ступіню засмічення зі зворотним зв'язком. Аналіз відбувається за допомогою двох датчиків тиску, розташованих на вході і виході з фільтру. За умов міського руху в відпрацьованих газах дизеля міститися більша кількість частинок сажі. З цієї причини міський режим руху є найгіршим для роботи ФЗ. Фільтр швидше засмічується частками сажі, потужність і крутний момент двигуна зменшуються.

У випадку засмічення фільтра його очищують випалюванням сажі. Для цього температуру всередині фільтра доводять до 600-800 °C для збільшити швидкості реакції окислення вуглецю, що міститься в сажі до стану CO і CO₂. Для очищення ФЗ його виробники рекомендують періодично активувати процес регенерації. Для цього радять проїхати приблизно 40 км зі швидкістю 80 км/год на низьких передачах, або рухатися в звичайному режимі, також використовуючи нижчу з можливих передач. Але такий підхід не завжди зручний в експлуатації і сприяє перевитраті палива під час руху. Тому система керування фільтром спільно з системою впорскування палива деяких дизельних двигунів мають можливість самостійно змінювати параметри роботи двигуна з метою очищення ФЗ від сажі. Сьогодні ФЗ встановлюються на більшість дизельних двигунів автомобілів різних марок. ФЗ типу DPF застосовувалися на перших дизельних двигунах HDi (1998 -2001р).

Висока швидкість і повнота хімічних реакцій в ФЗ (допалювання частинок сажі до стану CO і CO₂) відбувається незалежно від зовнішньої температури і вологості повітря. Ефективна робота фільтра вимагає використання палива високої якості та за можливістю уникнення руху

автомобіля в міському режимі. Регенерація ФЗ є складною і відносно повільною.

Використання ФЗ вимагає обов'язкової наявності системи діагностування його стану. Такий фільтр має складну конструкцію та технологію виготовлення, що підвищує його собівартість. Ресурс ФЗ складає 60-80 тис. км.

FAP™ - офіційно зареєстрована марка фільтра закритого типу з регенерацією, створеної групою PSA Peugeot Citroen. FAP™ є вдосконаленим ФЗ DPF, доповнений системою автоматичної регенерації.

Для регенерації FAP™ використовується спеціальна присадка EOLYST™, яка автоматично впорскується в дизельне паливо з окремого резервуара. Вона впорскується в паливний бак автомобіля регулярно за сигналом системи контролю працездатності фільтра, в результаті чого ФЗР активно очищується.

Присадка EOLYST™ являє собою колоїдний розчин дизельного палива з мікрогранулами церію, укладених в нерозчинній оболонці з речовини, яка за властивостями схожа на желатин. Така речовина при згоранні виділяти велику кількість тепла і додатково розігріває відпрацьовані газы.

Розігріті відпрацьовані газы, потрапляючи в FAP™-фільтр розігрівають спеціальний жароміцний керамічний реактор до 700 °C, в результаті чого, всі окісли в мікроканалах частинки сажі практично повністю вигоряють. Додатково при досягненні локальних температур порядку 1000 °C згорє основна кількість вуглеводневих продуктів неповного згорання. Вісь процес повного очищення фільтра займає приблизно через 3-5 хвилин після упорскування присадки EOLYST™ в дизельне паливо. Перевага технології FAP™ полягає в тому, що процес регенерації фільтра ніяк не впливає на поведінку двигуна автомобіля, відбувається автоматично і непомітно для водія.

До недавнього часу ФЗР FAP™ був єдиним в світі фільтром з регенерацією. Кілька років тому у виробників автомобілів Ford, Toyota та ін.

з'явилися альтернативні FAP™-фільтру розробки (сDPF, DPNR та ін.). Однак, вони поступаються досконалістю, надійністю і якістю роботи FAP™.

Наприклад сьогодні переважна більшість дизельних двигунів автомобілів Peugeot оснащена сажевими фільтрами FAP™ III-го покоління, що дає переваги:

- збільшений термін служби FAP™ - фільтра щодо ФО і ФЗ. При правильній експлуатації термін служби FAP™ - фільтра практично співпадає з терміном служби автомобіля.
- відсутність надлишкового засмічення;
- висока надійність не впливає на роботу двигуна;
- висока пристосовуваність до експлуатації на дизельному паливі низької якості;
- низькі витрати на експлуатацію (навіть заправка рідиною EOLYS™ дешевше заміни DPF-фільтра);

Але, існують недоліки:

- необхідність поповнення запасу рідини EOLYS™ через 80-100 тис. км;
- небажана експлуатація FAP™-фільтра за відсутності рідини EOLYS™;
- частий долив (заправка) рідини EOLYS™ при експлуатації автомобіля на дизельному паливі низької якості;
- підвищені вимоги до системи діагностики за станом ФЗ, що його ускладнює;
- підвищені вимоги до жаростійкості та жароміцності матеріалів реактора;

Процес регенерації FAP™-фільтра відбувається наступним чином:

- церій, що міститься в порціях палива, яке впорскується в циліндри дизельного двигуна, не впливає на перебіг процесу згорання, але збільшує температуру відпрацьованих газів. Таке збільшення не призводить до перегріву двигуна, але розігріває робочу поверхню реактора FAP™-фільтра;

- під час такту випуску двигуна, коли випускні клапани відкриті, відбувається послівпорскування палива в потік газів, які витісняються поршнем з циліндра. Відпрацьовані гази при цьому не викликають спалахування церію, але випаровують желатинову оболонку мікрогранул;
- в розігрітому виді і без оболонки частинки церію потрапляють на розігріту до необхідної температури (400-600 °C) клітковину FAP™-фільтра;
- розігрітий церій, потрапляючи на поверхню із високою температурою, у присутності кисню відпрацьованих газів і вуглецю сажі спалахує, підпалюючи частинки сажі;
- частинки сажі, укладені в клітковині FAP™-фільтра, будучи разом з нею розігрітими до 400-600 °C, готові вступити в реакцію з киснем, для чого необхідно почати реакцію. Роль детонатора в даному випадку виконує церій. Його мікрочастинки підпалюють шар частинок сажі, піднімаючи температуру до 1000 °C. Це не призводить до пошкодження керамічної решітки (клітковини), а з іншого боку, швидко і в повному обсязі окисляє не тільки частинки сажі, але й оксиди органічних сполук.

Церій - Ce (Cerium), хімічний елемент III групи періодичної системи елементів Менделєєва, атомний номер 58, атомна маса 140,12 відноситься до рідкоземельних елементів. Церій був відкритий в 1803 р. і названий на ім'я малої планети Церери.

Інтерес до церію виник після того, як було виявлено, що сплави церію з залізом володіють цікавою властивістю - при ударі шматочка такого сплаву о шорстку сталеву поверхню висікаються іскри з температурою до 200 °C. Такі іскри легко воспламеняли вату та, наприклад, бензин.

Церій - дуже активний метал. На повітрі він окислюється за кілька діб, утворюючи сірий порошок. При нагріванні на повітрі у вигляді монолітного блоку церій спалахує при 160-180 °C. Церій розкладає воду при кип'ятінні, розчинний у мінеральних кислотах, є стійким до дії лугів. Активна взаємодія

з галогенами, азотом і вуглецем лягла в основу використання його в РАР™-фільтрах.

Висновки до розділу 1:

1. Проведено аналіз процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах автомобільних дизельних двигунів. Показано переваги та недоліки найбільш розповсюджених способів фільтрації, що реалізовано в фільтрах: РМ (Particulate Matter, Particulate Matrix) - відкритого типу; DPF (Diesel Particulate Filter) - закритого типу; FAP™ ("filtre a particules") - закритого типу з функцією регенерації. Наведено особливості їх застосування.

РОЗДІЛ 2. ФІЛЬТРИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ ВІД ЧАСТИНОК САЖІ

Відомо, що одним з головних забруднювачів атмосфери дисперсними частками (сажею) у великих містах є автомобільний транспорт. В зв'язку з цим екологічні вимоги до двигуна сучасного автомобіля являються пріоритетними.

Екологічна безпека автомобіля – це властивість знижувати негативні наслідки впливу його експлуатації на навколишнє середовище і учасників дорожнього руху. Вона спрямована на зниження токсичності відпрацьованих газів, зменшення шумового впливу, зниження радіоперешкод, зменшення руйнування опорної поверхні при русі автомобіля.

Незважаючи на численні спроби замінити двигун внутрішнього згорання на екологічно кращий, він є ще досить розповсюджений в експлуатації. Для повного впровадження принципово нових екологічних двигунів ще необхідний час, переналагодження виробництва для їх крупносерійного випуску, що вимагає великих капіталовкладень, підготовки персоналу та водіїв до їх експлуатації. Разом з тим людство вже підійшло до межі, коли без екологічно чистого автомобіля не можна обійтися. Тому, один з шляхів – якщо не повністю виключити, то звести до мінімуму шкідливі викиди двигунів автомобілів, в тому числі й дизельних.

Для цього ведуться численні розробки різних фільтрів, каталізаторів, допалювачів токсичних речовин у відпрацьованих газах двигуна автомобіля, які поліпшують екологічні показники автомобіля. Незважаючи на велику кількість розробок в даній галузі, автотранспорт ще потребує удосконалення і вносить до 80 % сумарного забруднення атмосфери міст. Варто відзначити, що більшість способів очищення відпрацьованих газів, які використовуються на автотранспорті, аналогічні способам і пристроям очищення промислових газів. Відрізняються вони лише розмірами, та задачами фільтрації.

Всі відомі способи і пристрої очищення відпрацьованих газів двигуна можна розділити на внутрішні (безпосередньо в самому двигуні) і зовнішні (у випускному тракті двигуна) [2]. Внутрішні способи реалізуються зміною конструкції двигуна та пов'язані з оптимізацією його робочого процесу. До даних способів відносяться удосконалення форми впускних та випускних каналів для упорядкування руху повітря в камері згорання двигуна (турбулізації заряду), підвищення тиску впорскування, удосконалення форми камери згорання тощо. Застосування даних способів впливає на викиди сажі двигуном як вторинна дія, оскільки вони розраховані в основному для покращення показників роботи самого двигуна, а це в свою чергу покращує його екологічні показники. Зовнішні способи очищення ВГ двигуна в більшості випадків базуються на використанні різних фізичних явищ. Багато з них орієнтовані на вловлювання та/або утилізацію частинок сажі.

2.1. Фільтр з механічним сепаруванням

Відомо, що тверді і рідкі складові ВГ дизельного двигуна автомобіля можна утримувати методом механічного сепарування, яке полягає в обертанні потоку ВГ з наступним захопленням сажі в спеціальних бункерах, які систематичним очищаються (рис. 2.1.) [3].

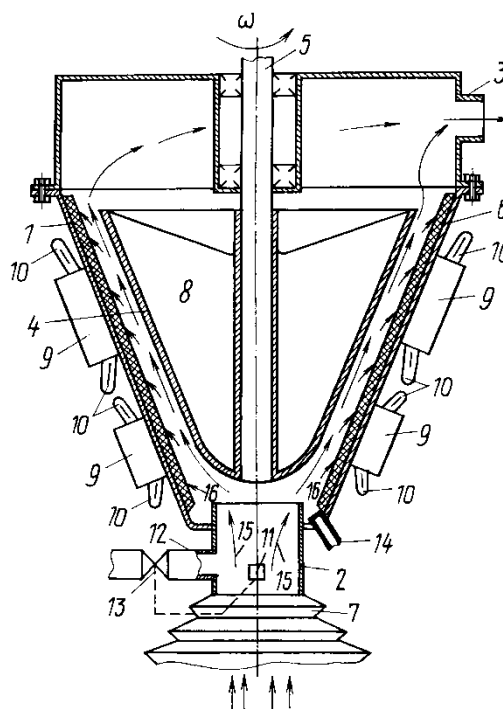


Рис. 2.1. Сепаратор ВГ: 1 – корпус; 2, 3 – впускний та випускний патрубки; 4 – ротор; 5 – вісь; 6 – вставка; 7 – сильфон; 8 – ребро; 9 – магнітопровід; 10 – обмотка; 11 – датчик тиску; 12 – трубопровід; 13 – регулятор витрати повітря; 14 – трубка; 15 – напрямок руху газів; 16 – напрямок руху домішок

Пристрій працює наступним чином. Ротор 4, що встановлений на осі 5, обертається. Через дію сил аеродинамічного тертя газ в корпусі 1 має обертально-поступальний рух, який спрямований убік обертання ротора 4 в має напрямок від впускного 2 до випускного 3 патрубків. Таким чином, у середині корпуса 1 формується газовий потік, що засмоктує ВГ в нижню частину корпуса 1 і далі – в зазор між ротором 4 і вставкою 6, що знаходиться всередині корпуса 1. В зазорі під дією відцентрових сил частинки, що містяться в ВГ двигуна, переміщуються до вставки 6 й утримуються на ній (наведено стрілками 16). Далі ВГ через випускний патрубок 3 надходять в атмосферу. Вставка 6 змінна і при певному забрудненні замінюється. В якості матеріалу для вставки 6 використовується непроклеєний картон, повсть або інші багатошарові матеріали, які між шарами механічно утримують сажу, масло та інші домішки, що знаходяться в ВГ двигуна. Сильфон 7 служить для з'єднання пристрою з випускним колектором двигуна. Відомо, що у ВГ домішки знаходяться в дисперсному стані, тому для їх осадження необхідні відносно великі відцентрові сили. Крім того, для забезпечення необхідної пропускної здатності фільтра потрібна і велика вертикальна швидкість газів в корпусі 1. Для цього необхідна висока частота обертання ротора 4. Щоб забезпечувати його міцність, всередині виконані ребра жорсткості 8.

Для обертання ротора 4 можуть використовуватися електродвигун постійного струму або магнітопроводи (рис. 2.2.).

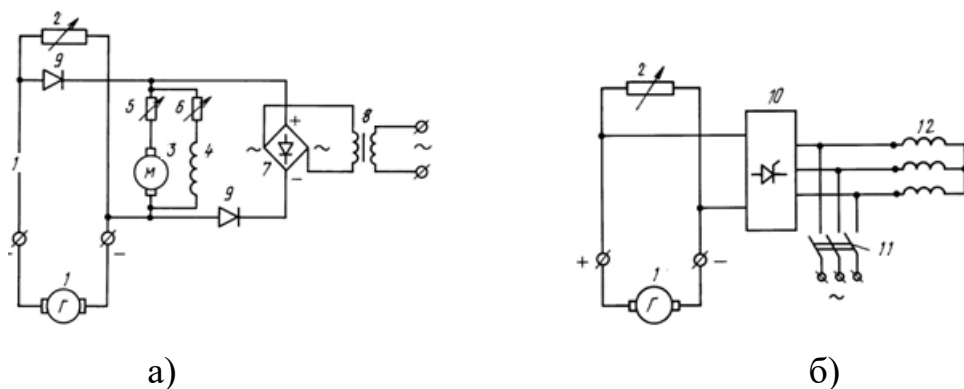


Рис. 2.2. Схеми підключення приводу ротора: 1 – джерело електроенергії; 2 – реостат; 3 – електродвигун; 4 – обмотка збудження; 5, 6 – додаткові резистори; 7 – випрямляч; 8 – трансформатор; 9 – діод; 10 – перетворювач; 11 – вимикач; 12 – магнітопроводи

Недоліками даного пристрою є його складність, відносно значні енерговитрати, велика матеріалоемність.

2.2. Пристрій плазмового допалювання

Відомі пристрої плазмового допалювання ВГ шляхом їх пропускання через факел низькотемпературної плазми (рис. 2.3.) [4].

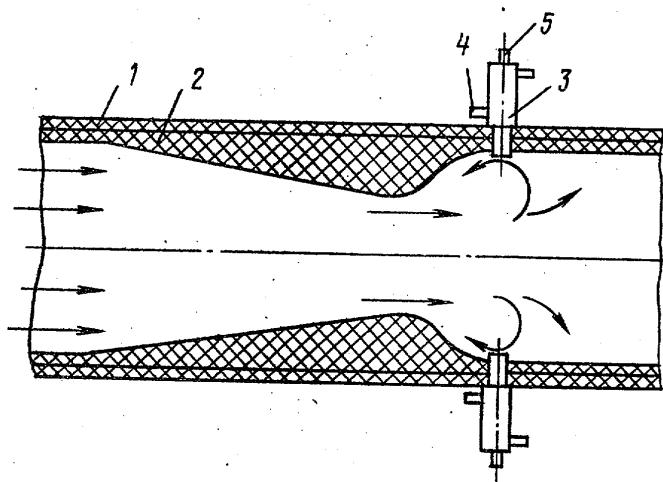


Рис. 2.3. Плазмовий допалювач ВГ: 1 – камера допалювання; 2 – ділянка у вигляді труби Вентурі; 3 – канал підводу повітря; 4 – паливна форсунка; 5 – електрод

Даний пристрій працює наступним чином. Потік ВГ проходить ділянку 2, за рахунок зменшення прохідного перерізу ділянки 2, його швидкість зростає. За ділянкою 2 відбувається зрив потоку і його завіхрювання (турбулізація). Далі ВГ попадає в струмінь низькотемпературної плазми, що генерується електродами 5, і паливними форсунками 4. Плазма й паливо в результаті реакції між собою є генератором активних частинок, які, змішуючись із ВГ, приводять до горіння продуктів неповного згорання ВГ, в тому числі й частинок сажі.

Подача палива через форсунки 4 приводить до підвищення температури у всій камері 1, тобто кращого впливу продуктів плазмохімічних реакцій на сажу у ВГ дизеля.

Реакції, що відбуваються, призводять до утворення надрівноважних концентрацій атомів, радикалів, продуктів неповного перетворення вуглеводнів. Наявність таких частинок у зоні хімічних реакцій дозволяє різко інтенсифікувати процес допалювання сажі.

Утворення заряджених і хімічно активних частинок відбувається в турбулізованому потоці ВГ, збільшує швидкість реакції й сприяє кращому її протіканню, при цьому покращується нейтралізація ВГ.

Недоліками пристрою є значні енерговитрати, несприятливі температурні режими системи випуску ВГ двигуна, її перегріву.

2.3. Електрофільтрувальний пристрій

Відомі пристрої електрофільтрування ВГ двигуна шляхом впливу електричного поля на заряджені частинки (тверді та рідкі) ВГ з їх електростатичним осадженням на спеціальні електроди та наступним систематичним видаленням (рис. 2.4.) [5].

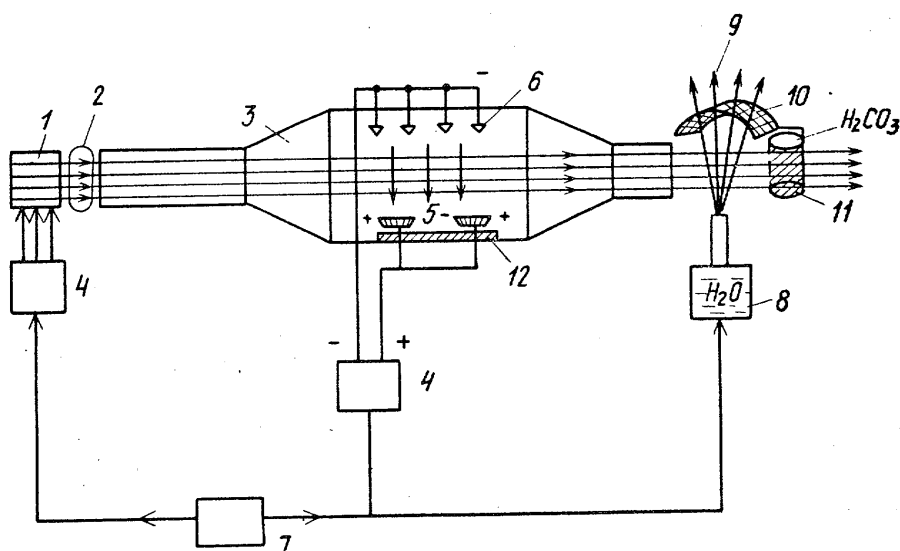


Рис. 2.4. Пристрій для електрофільтрування ВГ двигуна: 1 – двигун; 2 – ВГ; 3 – камера; 4 – блок тиристорного запалювання; 5, 6 – електроди; 7 – генератор; 8 – впорскувач; 9 – аерозоль; 10 – пластина; 11 – відстійна ємність; 12 – сітка

ВГ 2 від двигуна 1 надходять у камеру 3, які від електродів 5 та 6 обробляються електричними імпульсами високої напруги за допомогою блоку тиристорного запалювання 4. Далі відбувається обробка аерозолу 9 від впорскувача 8. Обробку ВГ 2 електричними імпульсами й подачу аерозолі здійснюють із частотою запалювання паливної суміші у двигуні 1. Шпаруватість обробки регулюють генератором 7. Вологу з домішками конденсують на пластині 10 і збирають у ємності 11, сажа осідає на сітці 12 поблизу електродів 5 та 6.

Недоліками даного пристрою є низька надійність через важкість забезпечення електроізоляції різноіменно заряджених пластин електрофільтра в умовах осадження сажі та кіптяви на внутрішній поверхні пластин під дією високих температур. Також недоліком є використання додаткової електричної енергії в бортовій мережі автомобіля.

Відомі також способи очищення ВГ дизеля від сажі її електротермічним розкладанням. Даний спосіб є відносно енергозатратним і тому не знайшов широкого розповсюдження на автомобільному транспорті.

2.4. Комбіновані пристрої очищення

На особливу увагу заслуговують комбіновані пристрої очищення ВГ дизеля, які поєднують в собі сажовий фільтр, каталітичні блоки відновлення оксидів азоту і окислювання оксиду вуглецю та вуглеводнів (рис. 2.5.) [6].

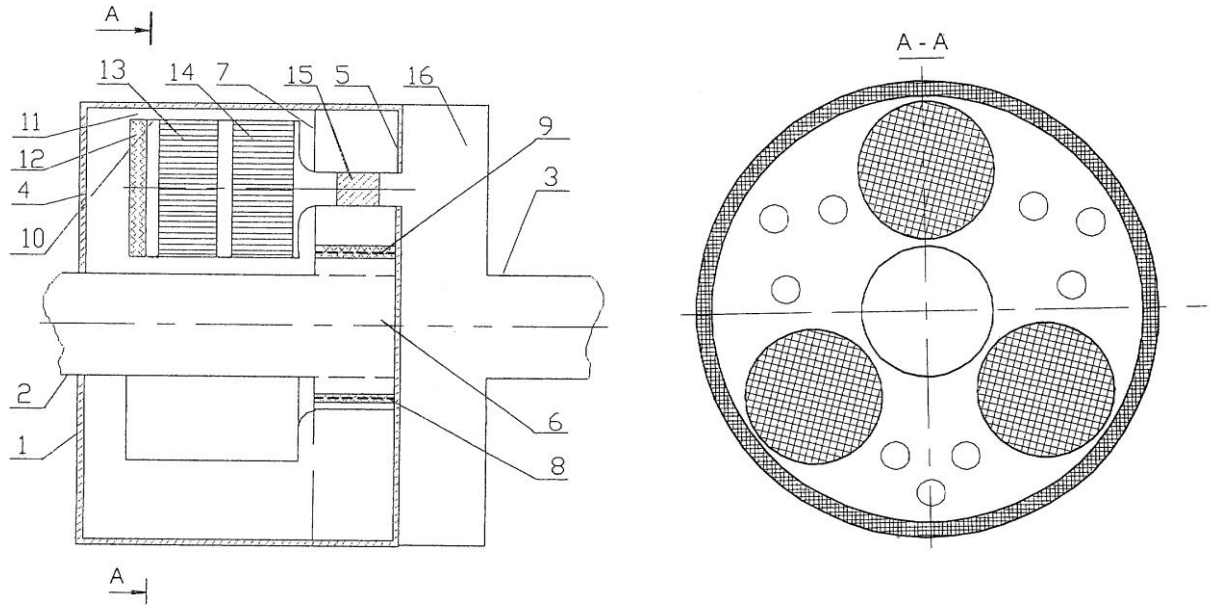


Рис. 2.5. Комбінований пристрій очищення ВГ: 1 – корпус; 2, 3 – вхідний та вихідний патрубки; 4 – кремнеземна тканина; 5 – торець; 6 – перфорована ділянка; 7 – перфорована перегородка; 8 – сажовий фільтр грубого очищення; 9 – електронагрівальний елемент; 10 – оболонка; 11 – порожнина; 12 – сажовий фільтр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

Звертає увагу на себе той факт, що на внутрішню поверхню корпусу в сажових фільтрів та на поверхню каталітичного блоку відновлення оксидів азоту й блоку окислювання оксиду вуглецю й вуглеводнів нанесено каталізатори на основі складного оксиду $\text{Cu}_x\text{Co}^{2+}_y\text{Co}^{3+}_{2y}\text{Sr}_z\text{Zr}_{0,5z}\text{Ti}_{1-(0,5x+2y+z)}\text{O}_2$.

Робота даного пристрою для очищення ВГ двигуна внутрішнього згорання відбувається наступним чином.

ВГ дизеля надходять по вхідному патрубку 2. Ударяючись о поверхню торця 5 корпусу 1 і змінивши напрямок руху, газовий потік надходить через перфоровану ділянку 6 труби вхідного патрубка 2, каталітичний 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 сажовим фільтром грубого очищення 8, в якому відбувається їх каталітичне окислювання.

При русі ВГ всередині порожнини 11 через зміну напрямку його руху і зіткнення з каталізатором на кремнеземній тканині 4, що знаходяться на внутрішній поверхні корпусу 1, частинки сажі осідають на каталізаторі й окисляються до оксидів вуглецю.

Ще раз змінивши напрямок руху, потік проходить через сажовий фільтр тонкого очищення 12, через пористий каталітичний блок 13 відновлення оксидів азоту, пористий каталітичний блок 14 окислювання оксиду вуглецю й вуглеводнів. Далі потік проходить через вогнегасний фільтр 15, що запобігає проходженню полум'я, надходить у резонаторну камеру 16, в якій через розширення знижується температура й швидкість газового потоку. Резонаторна камера 16 забезпечує зниження акустичних коливань потоку, що через вихідний патрубок 3 виходить в атмосферу. При цьому кількість оболонок 10 в конструкції пристрою може бути різною, в залежності від об'єму ВГ.

При пуску холодного двигуна і роботі в умовах негативних температур, а також для регенерації каталітичних елементів пристрою передбачено електронагрівальний елемент 9, встановлений усередині фільтра грубого очищення 8. Після прогріву двигуна і виходу на робочій тепловий режим або завершення циклу регенерації каталітичних елементів електронагрівальний елемент 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 в ВГ 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 «Автомобілі і транспортні технології» Державного університету «Житомирська політехніка» ведуться наукові роботи, які пов'язані з покращенням процесу фільтрування частинок сажі у ВГ двигуна. Розроблено спосіб і конструкція комбінованого пристрою для очищення ВГ від частинок сажі дизеля, в основу якого покладено математичну залежність, яка описує процес осадження частинок сажі на фільтруючому матеріалі від їх температури. Це дозволить не тільки покращити процес фільтрування ВГ від частинок сажі, але й збільшити ресурс окисно-відновлювальних каталізаторів через зменшення їх забруднення частинками сажі під час роботи.

Варто відзначити, що даний підхід може використовуватися й на інших пристроях з механічним очищенням ВГ дизелів від частинок сажі.

2.5. Регенерація фільтрів твердих частинок ВГ дизелів

Запропоновано класифікацію способів і засобів здійснення процесів регенерації фільтрів твердих частинок [12]. В залежності від фракційного складу твердих частинок у ВГ дизеля виділяють наступні види процесу регенерації фільтрів [1]:

- періодичний процес очищення фільтра від накопичених впродовж експлуатації окислюваних фракцій твердих частинок, 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 відрізняється значно більшим міжрегенераційним періодом (або може бути неперіодичним) та може не входити до життєвого циклу фільтра.

Міжрегенераційний період роботи фільтра твердих частинок - це тривалість його роботи від моменту, коли він є незаповненим (пустим, очищеним від твердих частинок) до моменту, коли необхідно здійснити регенерацію (за значеннями відповідних показників роботи фільтра і/або двигуна). Тривалість міжрегенераційного періоду може бути виражено у одиницях часу чи пробігу автомобіля, в одиницях кількості використаного палива чи виробленої енергії двигуном, в одиницях напрацювання (мотогодинах).

Регенерація фільтра I роду пов'язана з термічним або термокаталітичним впливом (рис. 2.6.) підвищеної температури на ВГ.

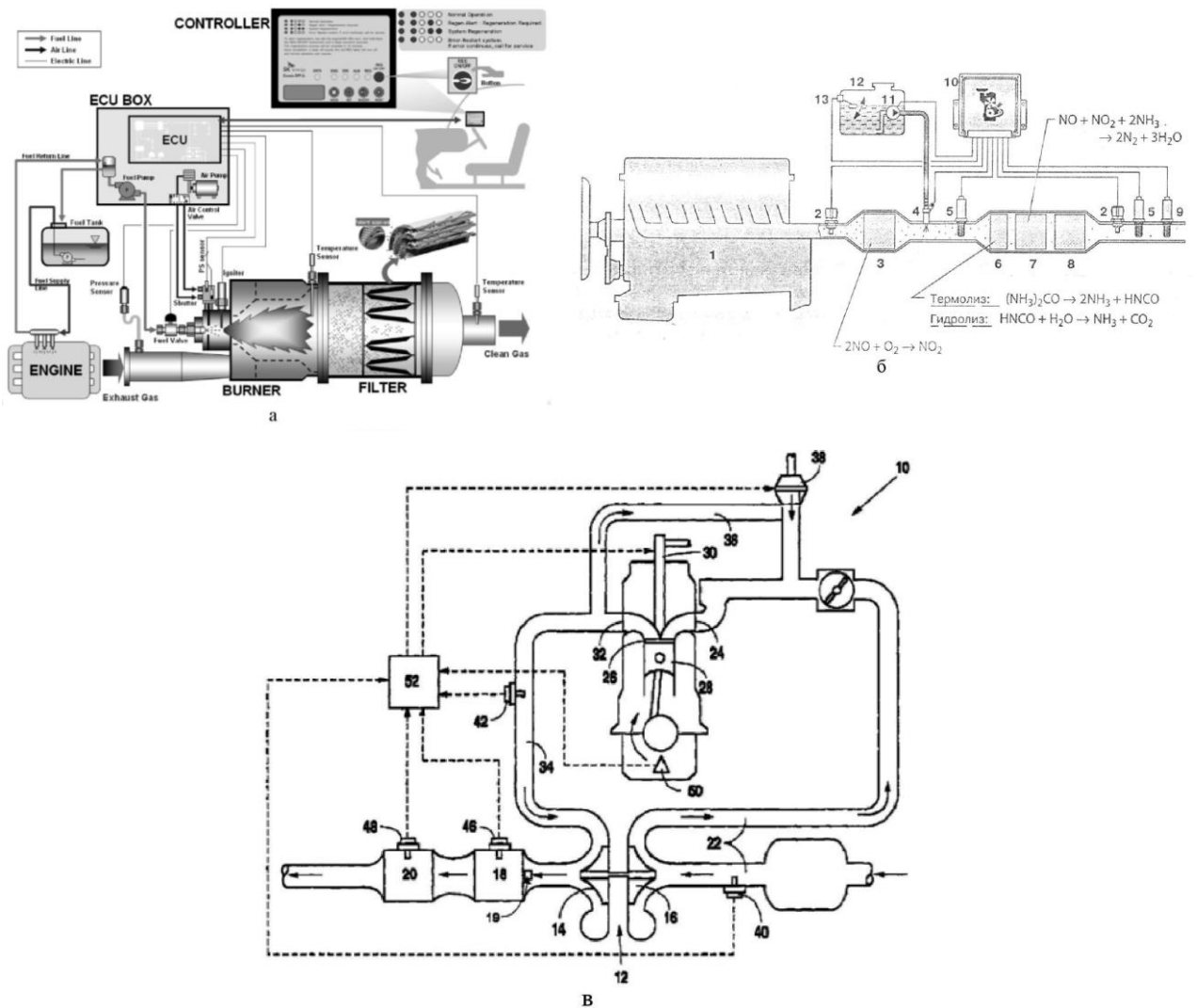


Рис. 2.6. Системи термokatалітичної регенерації I роду фільтра твердих частинок: а - Ecomix-DPF із подачею додаткового повітря; б - Bosch з упорскуванням палива в випускнy систему дизеля, без подачі додаткового повітря; в - Engelhart з впорскуванням палива в камеру згорання дизеля, без подачі додаткового повітря в випускнy систему дизеля, із системою рециркуляції ВГ дизеля, окремою гілкою в алгоритмі паливоподачі

Це може досягатися (або пасивно-мимовільно) переведенням дизеля на номінальний режим роботи чи режим максимального крутного моменту (або активно-примусово) [1, 2]. Останнє відбувається через:

- подачу порцій палива у камеру згорання дизеля на такті розширення та/або випуску та ініціалізацією його дифузного окислення у ВГ залишковим

киснем при проходженні потоку ВГ через каталітичний окислювач, розташованому вище фільтра за потоком ВГ [1, 2] (рис. 2.7., в.);

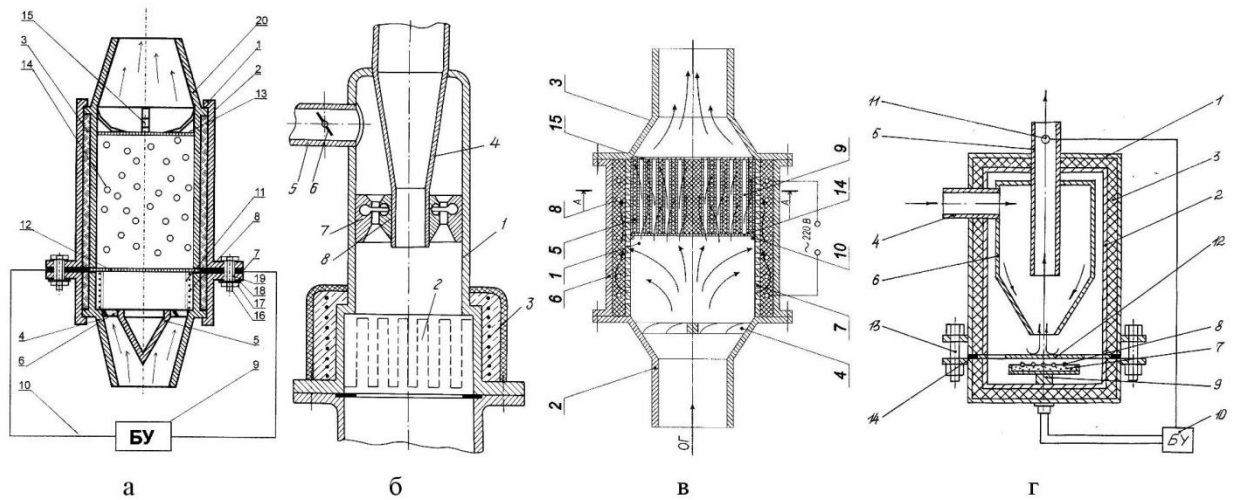


Рис. 2.7. Фільтр твердих частинок з електронагрівальними елементами у тепло- та електроізолюваному корпусі: а). без подачі повітря; б). з подачею додаткового повітря в камеру згорання; в). з металевим фільтрувальним елементом; г) з інерційним відсіюванням твердих частинок

- подачу палива в спеціальну камеру згорання в випускному тракті дизеля з наступним дифузним окисленням залишковим киснем за допомогою свічок запалювання (розжарювання), або окисленням у каталітичному допалювачі з подальшим підтриманням полум'я (рис. 2.7., а,б.) [11, 12];
- використання теплоізоляції корпусу фільтра та електронагрівних елементів (свічки розжарювання або ніхромові спіралі у випускному тракті чи тілі фільтрувального елемента з подачею додаткового повітря елемент (рис. 2.7., б.) чи без неї (рис. 2.7., а.);
- використання фільтрувальних елементів з металу (рис. 2.7., в.), які застосовують спільно з циклонами (рис. 2.7., г.);
- підвищення водневого числа палива подачею водню в свіжий заряд [11, 12];
- використання випромінювачів високої частоти, що впливають на потік ВГ (для підвищення температури ВГ і твердих частинок) для термічної деградації вуглеводнів, що адсорбовано на сажою [1, 14, 15] (рис. 2.7., в.).

Термічне окислення твердих частинок ВГ починається при температурах 550-650 °C з використанням каталізаторів в паливі або ВГ при 300-400 °C, а окислення твердих частинок низькотемпературною плазмою або NO₂ відбувається вже за менших температур 200-250 °C [1, 2].

Присадка до палива для прискорення регенерації Wynns Diesel Power 3 чи EOLYS фірми Rhodia являє собою 4,2 % органічний розчин оксиду церію, що подається у паливний бак форсункою одноразово відповідно до об'єму заправленого палива [7]. Її розроблено для зниження температури горіння сажі нижче порогу горіння до 350 °C для розпушення твердих частинок, що робить регенерацію пожежобезпечною. Але при згоранні твердих частинок оксид церію не окислюється й осідає в фільтрі, що знижує його ресурс.

Регенерацію I роду також поділяють на наступні види [11, 12, 16, 18]:

- мимовільна (пасивна, неконтрольована). Вона відбувається за досягнення параметрів ВГ, необхідних для початку і підтримання процесу окислення твердих частинок у фільтрі при роботі дизеля на режимах без участі бортової системи регенерації. Залежно від кількості накопичених твердих частинок у фільтрі цей процес може перебігати в наступних режимах: штатний - умови перебігу процесу не викликають негативних наслідків для матеріалу ФЕ, його каталітичного покриття і корпусу ФТЧ; аварійний - швидке згорання великої кількості накопичених твердих частинок, що нерівномірно підвищує температуру матеріалу фільтрувального елемента і призводить до його термошокового руйнування зі зміщенням каналів для руху ВГ та їх перекриттям (замикання фільтрувального елемента), або з утворенням наскрізного отвору (пробою) фільтрувального елемента, або його оплавлення, руйнування його каталітичного покриття або прогару корпусу фільтра.

- примусова (контрольована, активна), яка відбувається при створенні умов (параметрів ВГ), необхідних для початку і підтримання процесу окислення твердих частинок в фільтрі за допомогою засобів бортової системи

регенерації. Залежно від кількості накопичених твердих частинок процес може здійснюватися в режимах: штатний - при досягненні розрахункового рівня кількості накопичених твердих частинок, яка нижче критичного, небезпечного для безаварійного здійснення процесу, проте створює такий гідравлічний опір фільтра, вище якого електронний блок керування дизеля ідентифікує режим роботи як аварійний. Принцип дії бортової системи регенерації I роду Woodward наведено на рис. 2.8;

- аварійно-штатна - при досягненні критичного значення розрахункової кількості накопичених твердих частинок, при якому є небезпека виходу з ладу елементів фільтра або переривання процесу регенерації, але регенерацію все ще можливо здійснити переведенням дизеля на особливий режим роботи;

- аварійна – аналогічна щодо попередній, коли здійснення процесу штатною системою регенерації згідно заводських налаштувань блоку керування неможливе.

Такий режим пропонується для регенерації фільтрів з вичерпаним ресурсом, з фізичним зносом, або для здійснення регенерації II роду, коли рівень накопичених нерозчинних і закоксованих розчинних фракцій твердих частинок в фільтрі має критичне значення.

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

- при ініціації процесу безпосередньо електронним блоком керування при проведенні технічного обслуговування;
- при використанні засобів перетворення, розчинення, перерозподілу тощо в фільтруючому елементі спеціальними засобами;
- поза транспортним засобом промиванням водою під тиском до 1,5 МПа вручну чи на спеціальному стенді, або здійсненням термічної регенерації за допомогою спеціального обладнання.

Наприклад, система очищення фільтра від твердих частинок LIQUI MOLY (рис. 2.8, а.) містить наступні компоненти:

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

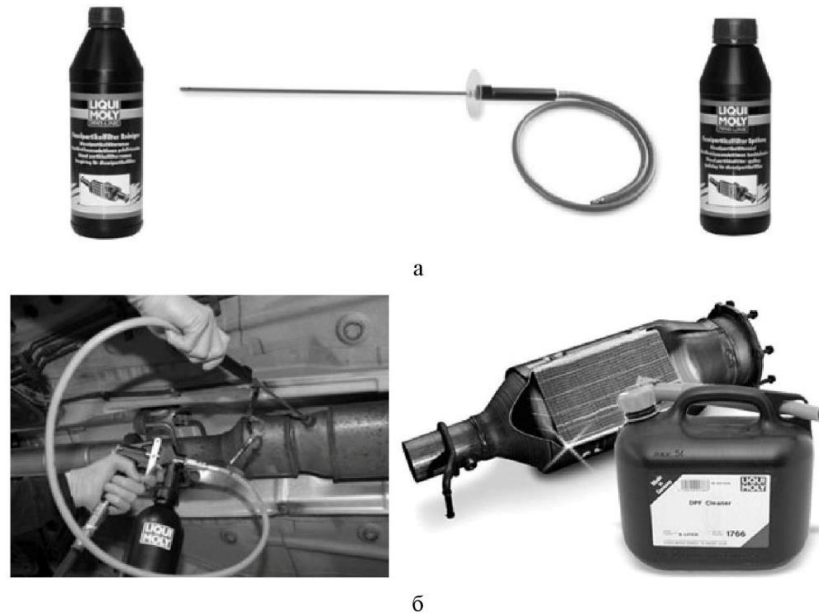


Рис. 2.8. Система LIQUI MOLY примусової регенерації I роду в аварійно-штатному режимі фільтра твердих частинок

Вона використовується у випадку неможливої (або небажаної) примусової аварійної регенерації фільтра в складі транспортного засобу. Рідина-розчинник (1 дм^3) подається в фільтр на поверхню фільтруючий елемент розпилювачем-пістолетом по 5-10 впорскувань із перервами в 5-10 с, що вводиться в корпус фільтра через штуцер датчика температури під тиском 6-8 атм. Після цього аналогічним чином фільтр обробляється промивачем-ополіскувачем ($0,5 \text{ дм}^3$) (рис. 2.8., б.). Обидві рідини за атмосферних умов випаровуються і виводяться системою випуску відпрацьованих газів дизеля. Дана система придатна для очищення фільтрів легкових автомобілів, що обмежується довжиною каналів в фільтрі. Процес починають відразу після

зупинки дизеля. Звертає увагу на себе розташування турбокомпресора і випускного колектора, оскільки реагенти агресивні до матеріалів випускних клапанів і деталей дизеля. В процесі обробки твердих частинок розчиняються і в такому вигляді перерозподіляються в об'ємі фільтра таким чином, що дає можливість перевірити примусову або пасивну регенерацію в штатному режимі після пробної поїздки автомобіля тривалістю 20 хв. Процедуру рекомендовано проводити при кожній другій заміні моторного масла або при кожному ТО автомобіля.

Відомі також системи з функціями одночасного очищення, розчинення та промивки від твердих частинок речовинами, що зберігаються в аерозольних балонах. Але, такі системи мають ряд недоліків:

- відносно низький тиск розпилювання;
- невелика ефективність щодо аварійної регенерації;
- втрата до 30 відсотків реагентів із-за форма струменя;
- мають зонди низької жорсткості, що впливає на характеристики струменя;
- жаростійкість зонду вимагає зупинку дизеля, охолодження ВГ до температури нижче 100 °С;
- мінливість тиску впорскування;
- відсутність ополіскувача та агресивні до деталей фільтра.

Примусова регенерація фільтрів твердих частинок І роду широко використовується на промислових підприємствах і у гірничодобувній галузі де наявність бортової системи регенерації (наприклад, в шахті) заборонено технікою безпеки. Для автотранспортних підприємств з парком міського транспорту, будівельних і дорожніх машин, сільськогосподарської техніки регенерація з зняттям фільтрів з автомобіля широко застосовується, що дозволяє здійснювати її централізовано [1, 2].

Усі бортові системи примусової регенерації фільтрів твердих частинок вимагають витрат енергії (палива), ускладнюють конструкцію двигуна, ви-

магають наявності окремої системи керування, контуру управління, алгоритма управління дизелем.

2.5. Класифікація пристроїв очищення ВГ дизелів

Аналіз існуючих пристроїв для очищення ВГ дизеля від частинок сажі дозволив розробити їх класифікацію (рис. 2.6.).

За місцем розташування пристрої можна поділити на зовнішні та внутрішні. Зовнішні, в свою чергу, за способом очищення поділяються на пристрої, що:

- поліпшують властивості паливо-повітряної суміші;
- інтенсифікують процес горіння паливо-повітряної суміші.

Внутрішні за способом очищення бувають:

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

Пристрої також поділяються в залежності від кількості стадій очищення: з однією стадією і з декількома стадіями.

Пристрої для очищення ВГ дизеля від частинок сажі також поділяються за ознакою споживання енергії з електричної мережі автомобіля і, відповідно, бувають зі споживанням, або без нього.

За ознакою впливу на шумність ВГ пристрої бувають:

- з резонаторною камерою;
- з лабиринтною системою;
- без впливу на шумність.

За напрямленістю очищення пристрої поділяються на ті, що:

- фільтрують тільки дисперсні частинки;

- виконують додаткову функцію (фільтрація рідких домішок; окислення оксиду вуглецю і вуглеводню; відновлення оксиду азоту).

За можливістю відновлення працездатності фільтри очищення ВГ дизеля бувають:

- з можливістю очищення або заміни фільтруючого елемента;
- разові, тобто без можливості очищення;
- з самоочищенням, які за способом самоочищення поділяються на: фільтри з допалюванням електропровідним елементом; з введенням додаткового палива; з введенням додаткового повітря.

З аналізу пристроїв для очищення відпрацьованих газів ДВЗ від сажі видно, що найкращі показники роботи мають комбіновані пристрої. Варто також відзначити, що у «чистому» вигляді пристрої для очищення майже не існують, оскільки їх малофункціональність та відносно мала продуктивність не дають можливості добитися потрібних показників очищення. Комбіновані пристрої одночасно мають декілька критеріїв за певними ознаками. А це значить, що кожний модуль такого фільтра надає йому своїх переваг та недоліків.

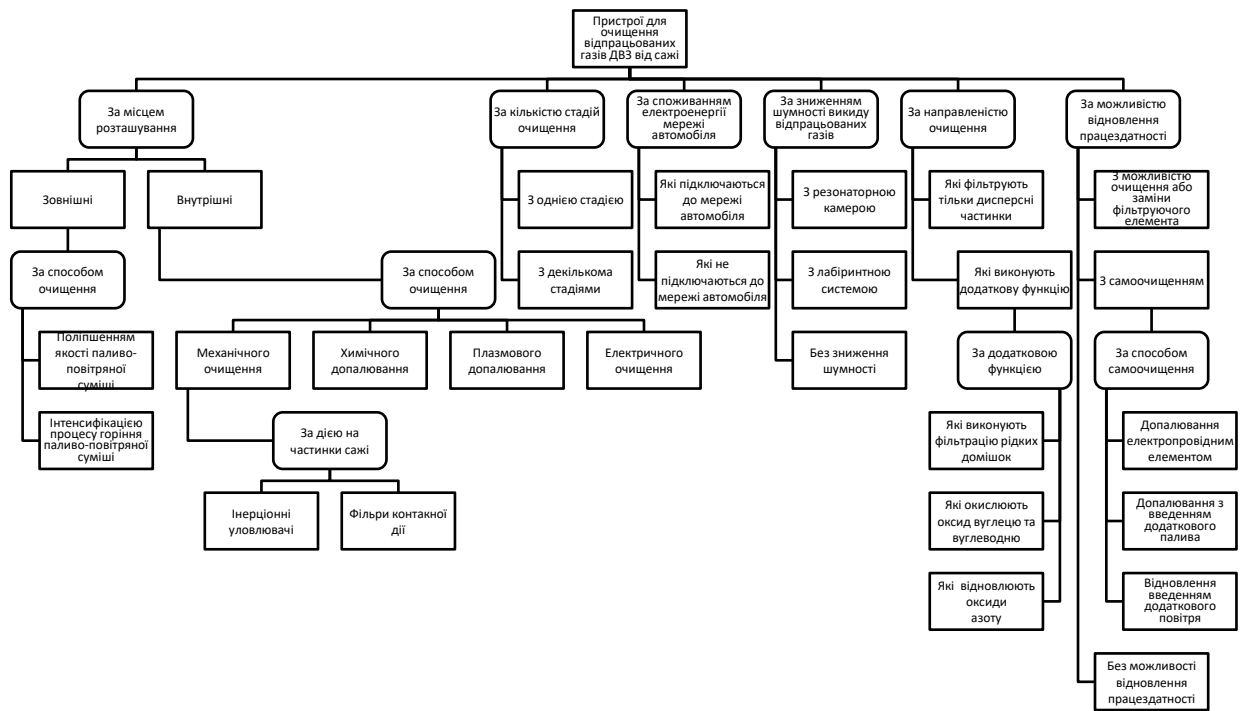


Рис. 2.6. Класифікація пристроїв для очищення ВГ дизеля від частинок сажі

Аналізуючи рис. 2.6., можна передбачити велику кількість конструкцій фільтрів для очищення ВГ від частинок сажі поєднанням властивостей і ознак, з урахуванням їх можливої сумісної роботи та за умови, що результат очищення буде максимально економічно і екологічно ефективним.

Висновки до розділу 2:

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

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРА САЖІ ДИЗЕЛЯ, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВІ

3.1. Газодинамічний аналіз системи очищення відпрацьованих газів дизеля

Очищення ВГ дизельного двигуна автомобіля, в тому числі від часток сажі, є найважливішим питанням удосконалення конструкції двигуна і складним завданням, вирішення якого потребує уваги спеціалістів-розробників фільтрів та залежить від багатьох факторів.

Для покращення показників роботи фільтрів, врахування різних впливових факторів на стадії натурних випробувань, потрібно до їх виконання провести аналітичний аналіз роботи фільтра. Для вирішення даного завдання сьогодні в руках науковців та інженерів є ряд комплексів для комп'ютерного моделювання різних фізичних процесів, у тому числі й які моделюють потік рідини або газу.

Пропонується система очищення ВГ з використанням пористих матеріалів і зміною температури фільтрувального елемента (елементів). Необхідно розглянути модель процесу фільтрації засобами комп'ютерного моделювання. Моделювання роботи розробленої системи для вантажного автомобіля проведено в CFD-Комплексі COSMOSFloWorks, визначено основні параметри її роботи, при цьому конструктивно передбачено регулювання температури в процесі фільтрації частинок сажі в фільтрах грубого й тонкого очищення.

Система може бути вмонтована в штатний глушник. При цьому також передбачено можливість її установки замість стандартного глушника з виконанням його функцій [17].

За прототип було обрано пристрій для очищення ВГ двигуна [17]. Запропоновано до використання електронагрівальний елемент, який в прототипі використовується для регенерації сажових фільтрів, також для

постійного регулювання температури фільтрів [18]. Для покращення процесу фільтрації зроблено газодинамічний аналіз роботи прототипу, в якому змодельовано фізичні процеси, що відбуваються під час роботи. З метою покращення процесу очищення ВГ від частинок сажі внесено рід змін в конструкцію фільтра.

Для розрахунку параметрів фізичних процесів в просторі та часі, було проведено їх математичне моделювання системою диференціальних і інтегральних рівнянь, що описують закони фізики, із граничними й початковими умовами (рис. 3.1.).

Оскільки використовувані в моделі системи диференціальних і інтегральних рівнянь звичайно 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 такий підхід використовується в COSMOSFloWorks [19].

В CFD-комплексі COSMOSFloWorks ВГ представляються як текуче середовище, рух якого і теплообмін в ньому описуються рівняннями Нав'є–Стокса, які описують в нестационарній постановці закони збереження маси, енергії та імпульсу середовища. Також додатково використовуються рівняння стану компонентів текучого середовища та емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності цих компонентів від температури. Для моделювання турбулентного протікання ВГ згадані рівняння Нав'є-Стокса осереднюються за Рейнольдсом, тобто використовується осереднений за малим масштабом часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні зміни осереднених за малим масштабом часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиск, швидкість, температура) враховуються їх похідними в часі. В результаті такого підходу рівняння, що описують даний процес, мають додаткові члени - напруги за Рейнольдсом, а для замикання цієї системи рівнянь в COSMOSFloWorks використовуються

закони переносу кінетичної енергії турбулентності та її дисипації в межах k-ε моделі турбулентності.

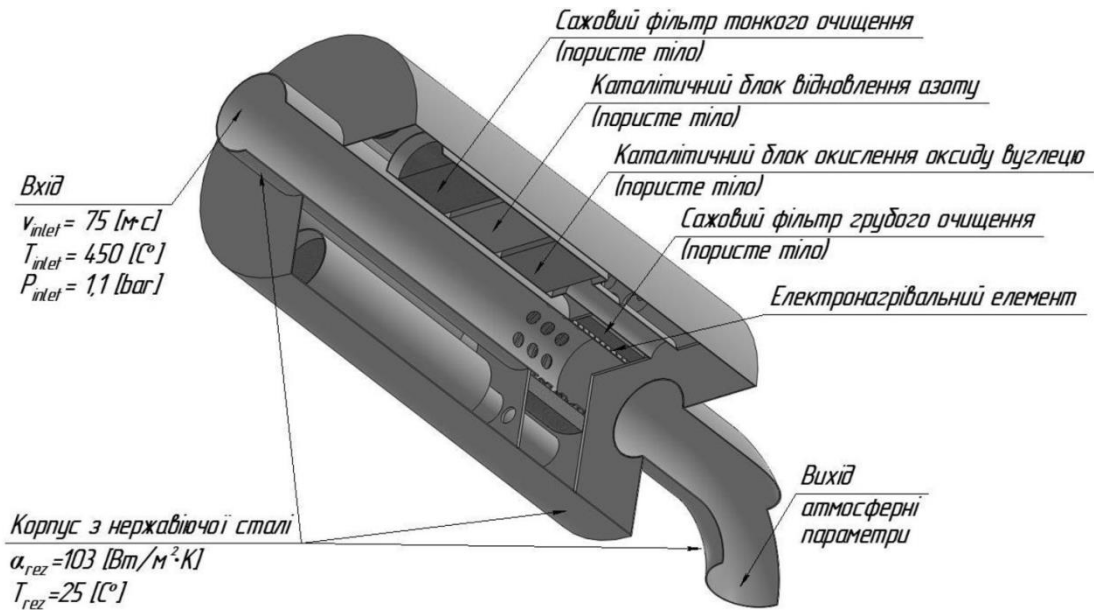


Рис. 3.1. Система очищення ВГ дизеля в CFD-комплексі COSMOSFloWorks

Система рівнянь збереження маси, імпульсу й енергії нестационарного просторового протікання у рамках підходу Ейлера в декартовій системі координат має вигляд (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 середовища, 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;

Нижні індекси 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 описується рівнянням:

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

де $k=1, 2, 3, \dots$

$\sigma_c=0,9$;

P_r – число Прандля;

c_p – питома теплоємність при постійному тиску, Дж/(кг·°К);

T – температура середовища, °К.

Для моделювання ламінарного потоку дана система рівнянь модифікується. При цьому припускається, що $\mu_t=0$ і $k=0$. За допомогою цього моделюється перехід ламінарного потоку в турбулентний і навпаки.

Поряд з дифузією тепла в ВГ у розробленій математичній моделі враховується теплопередача в твердих тілах (стінках і перегородках) в зовнішній простір (обдув потоком повітря). В COSMOSFloWorcs 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 $e = cT$;

z - питома теплоємність, Дж/(кг·°K);

T - температура, °K;

Q_н - питоме тепловиділення джерела тепла (в одиниці об'єму), Вт/м³.

В розробленій системі очищення ВГ (рис. 3.1.) частинки сажі проходять через пористі сажові фільтри і каталітичні блоки. Вплив фільтрів та каталітичних блоків на проходження кріз них ВГ змодельовано як розсереджений гідравлічний опір, а саме S_{iporous} і визначається:

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

де k - вектор сили опору пористого тіла.

Вектор k залежить від властивостей пористого матеріалу: типу проникненості та величиною гідравлічного опору за напрямками проникненості. В даній математичній моделі прийнятий ізотропний тип проникненості матеріалу, тобто вона однакова однакова в усіх напрямках.

За визначенням слідує, що:

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

де P – тиск середовища, Па;

ρ – густина середовища, кг/м³;

V – швидкість текучого середовища, м/с

Grad береться за напрямками руху ВГ в запропонованій конструкції (за напрямками проникненості). Із запропонованих в COSMOSFloWorcs залежностей для визначення вектора сили опору k було обрано:

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

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

m - масова витрата ВГ у заданому напрямку;

S - площа перерізу; m^2 ;

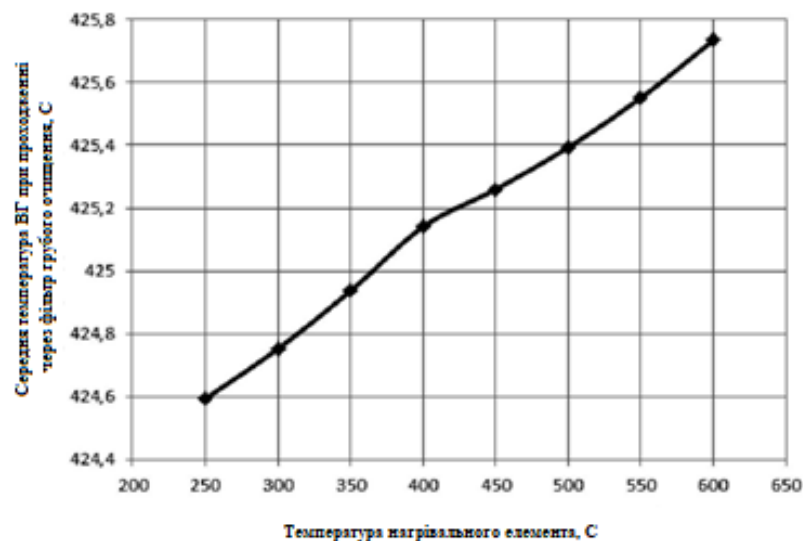
L - довжина пористого тіла в заданому напрямку, м.

Величина k задавалася залежністю:

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

де $V = m/P$ - об'ємна витрата ВГ, m^3/c

На першому етапі в конструкції системи очищення ВГ було прийнято, що нагрівальний елемент має форму спіралі і виконаний з дроту, який намотаний між перфорованою трубою та сажовим фільтром грубого очищення. Результати комп'ютерного моделювання роботи системи очищення ВГ представлено на рис. 3.2., де наведено залежність температури ВГ в фільтрах тонкого і грубого очищення від температури нагрівального елемента.



а)

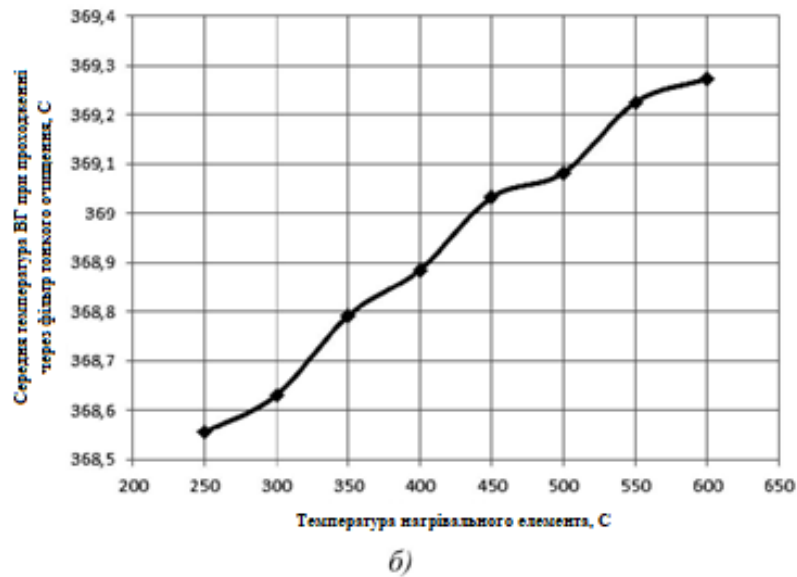


Рис. 3.2. Результати комп'ютерного моделювання роботи системи очищення ВГ зі спіральним нагрівальним елементом: а). температура ВГ в фільтрі грубого очищення; б). температура ВГ в фільтрі тонкого очищення

З рис. 3.2 можна зробити висновок, що наведена системи очищення ВГ від частинок сажі дає можливість незначно корегувати температуру ВГ при проходженні ними обох фільтрів очищення. Тому в подальшій розробці даної системи необхідно:

- внести зміни в схему для примусової затримки ВГ у зоні нагрівання;
- збільшити площу контакту нагрівача та ВГ для кращого їх нагрівання;
- перенести нагрівальний елемент перед фільтрами тонкого очищення.

Для збільшення площі контакту нагрівального елемента і ВГ пропонується зробити його у вигляді металевої сітки.

Треба звернути увагу, що такі зміни в конструкції системи очищення ВГ можуть призвести до значного збільшення гідравлічного опору всієї випускної системи автомобіля випуску ВГ двигуна автомобіля. Це може негативно сказатись на показниках роботи двигуна.

Нагрівальний елемент пропонується у вигляді сітки товщиною 2 мм із квадратними гніздами за стороною квадрата 2 мм.

В математичній моделі системи очищення ВГ від частинок сажі даний елемент описаний як пористе тіло [19]. Результати моделювання роботи після змін наведених змін в конструкції системи очищення ВГ представлено на рис. 3.3.

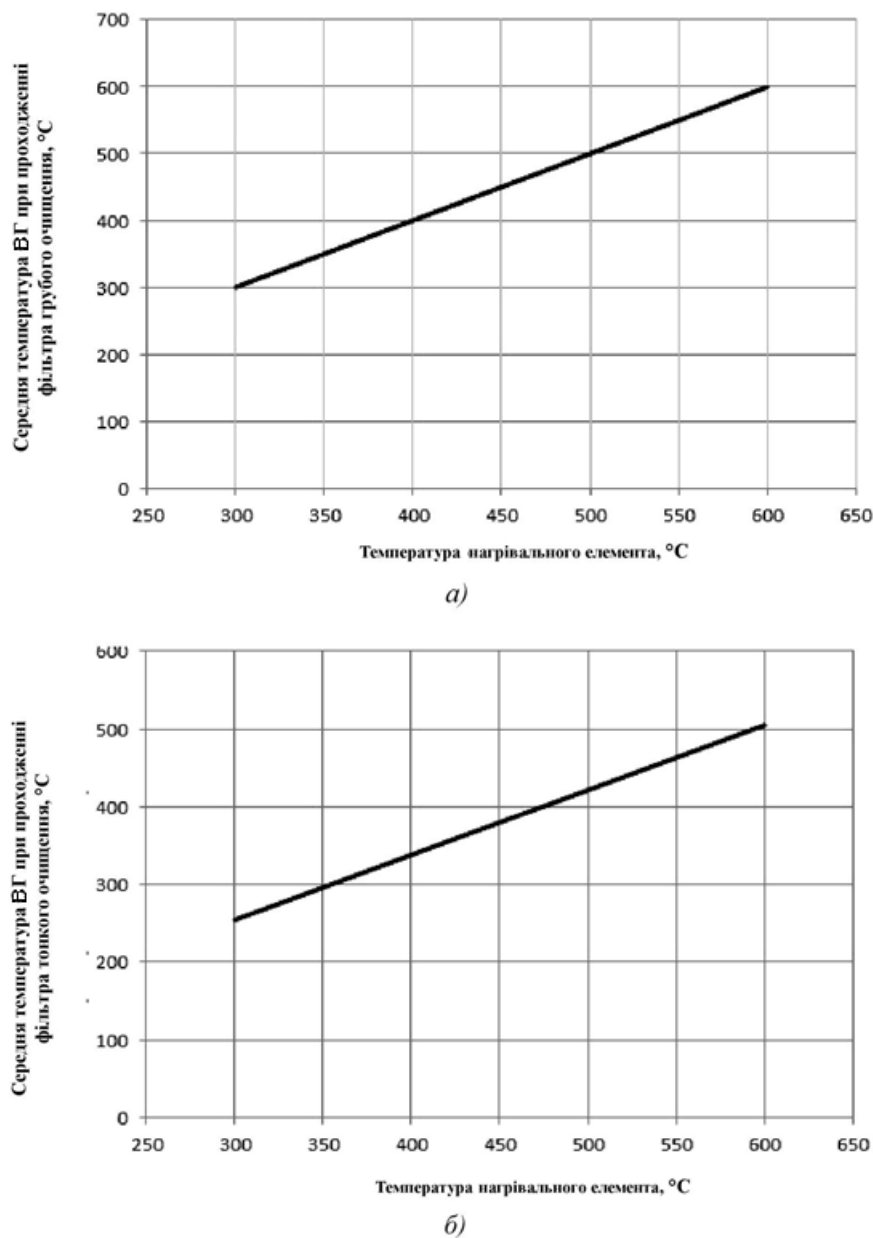


Рис. 3.3. Результати комп'ютерного моделювання роботи системи очищення ВГ з сітчастим нагрівальним елементом: а). температура ВГ в фільтрі грубого очищення; б). температура ВГ в фільтрі тонкого очищення

Як видно з рис. 3.3, конструкція системи очищення ВГ з сітчастим нагрівальним елементом дозволяє регулювати температуру ВГ при їх проходженні через фільтри грубого й тонкого очищення в більш широкому діапазоні, якого імовірно буде достатньо для покращення показників його роботи [17].

За допомогою розробленої розрахункової моделі системи очищення ВГ від частинок сажі в програмному комплексі COSMOSFloWorks в подальшому можна визначити її гідравлічний опір. Після чого необхідно запропонувати зміни конструкції системи в цілому. Відповідно, це буде сприяти покращенню показників роботи дизеля (очищення циліндрів, наповнення їх свіжим зарядом тощо).

3.2. Спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі

Спосіб очищення ВГ дизеля належить до галузі машинобудування, двигунобудування і може бути використаний в системах очищення відпрацьованих газів дизельних двигунів. Необхідність очищення ВГ дизелів від частинок сажі виникає внаслідок підвищення законодавчих вимог до їх якості.

Найбільш близьким за сукупністю важливих ознак до способу, що пропонується, є відомий спосіб для очищення ВГ[21], що обраний в якості прототипу.

Спосіб-прототип, як і спосіб, що пропонується, включає підігрів газового потоку ВГ за допомогою нагрівального елемента електричного типу.

Але, на відміну від способу, який пропонується, спосіб-прототип передбачає підігрів газового потоку в процесі пуску холодного двигуна, за негативних температур або для регенерації каталітичних елементів. В результаті цього має місце низька ефективність очищення ВГ від частинок сажі, оскільки в такому способі не забезпечуються температурні режими сажових фільтрів, при яких відбувається найкраще осадження сажі.

Таким чином, недоліком способу-прототипу є низька ефективність очищення ВГ дизеля від частинок сажі.

З цих міркувань постає задача вдосконалення існуючого способу очищення ВГ газів дизеля від частинок сажі шляхом того, що перед фільтром газового потоку та після нього вимірюють тиск ВГ. Далі за різницею тисків обчислюють радіальну швидкість частинок сажі в газовому потоці.

Після цього для заданої величини зближення частинок сажі з твердою поверхнею сажового фільтра в момент їх зіткнення розраховують оптимальну температуру газового потоку, при якій відбувається найкраще осадження частинок сажі на сажовому фільтрі.

Далі вимірюють поточну температуру газового потоку, порівнюють її з розрахунковим оптимальним значенням, та за умови, що поточна температура газового потоку буде менше розрахованої, газовий потік підігрівають до величини оптимальної температури, що забезпечить підвищення ефективності осадження сажі.

Відомо, що на величину зближення S частинок сажі з твердою поверхнею фільтра здійснюють основний вплив два фактори: їх температура t і радіальна швидкість V_x частинок сажі.

Розрахунки показують, що максимальна площа контакту частинок сажі в процесі їх осадження на поверхню фільтра (без урахування механічного «уловлювання» в порах фільтра) має місце при зближеннях в межах 30...70 %. Такі значення площі контакту сприяють найкращому утриманню частинки сажі на поверхні фільтрувального елемента і призводять до покращення процесу фільтрації [2].

В загальному випадку частинка сажі рухається відносно поверхні осаджування під де-яким кутом. Миттєву швидкість можна в векторній формі уявити як суму двох векторів: складова швидкості вздовж поверхні осаджування (осьоова швидкість) і складова, що перпендикулярна цієї поверхні (радіальна швидкість), яка само і сприяє осадженню частинки. Якщо відома радіальна швидкість V_x частинки сажі, можливо розрахувати

температуру t_{opt} , при якій відбувається найкраще зближення $S_{кр}$ частинки сажі та тверду поверхню фільтра.

Підтримання температури t_{en} газового потоку, яка відповідає температурі частинок сажі t , близькою до тієї, що сприяє найкращому зближенню $S_{кр}$ та осадженню частинок сажі t_{opt} , та, як наслідок, отримання найкращого утримання частинки сажі на поверхні фільтра, виключає можливість в подальшому зриву частинок сажі з поверхні фільтра. Також за умови використання каталітичного сажового фільтра це покращує протікання процесу каталітичного окислювання осаджених частинок.

Таким чином досягається мета покращення способу очищення ВГ дизеля від частинок сажі: підвищення ефективності очищення шляхом підтримання оптимальної температури частинок сажі для найкращого осадження її на каталітичному фільтрі.

Запропонований спосіб очищення ВГ дизеля від частинок сажі проводять в послідовності:

1. Вимірюють тиск ВГ дизеля перед фільтрацією та після неї (наприклад, за допомогою датчиків тиску).
2. На основі отриманих значень тисків обчислюють радіальну швидкість частинок сажі газового потоку.
3. За допомогою розрахованих значень радіальної швидкості для заздалегідь прийнятої величини їх зближення в момент зіткнення з твердою поверхнею розраховують оптимальну температуру частинок сажі, при якій відбувається їх найкраще осадження.
4. Вимірюють поточну температуру частинок сажі газового потоку (наприклад, за допомогою датчиків температури).
5. Порівнюють поточне значення температури частинок сажі газового потоку з її оптимальним значенням.

6. За умови, що поточна температура менша за оптимальну, газовий потік підігрівають (наприклад, за допомогою електронагрівального елемента) до тих пір, поки поточна температура не зрівняється з оптимальною.

Спосіб, що пропонується, пояснюється кресленнями, де зображено пристрій, який 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.

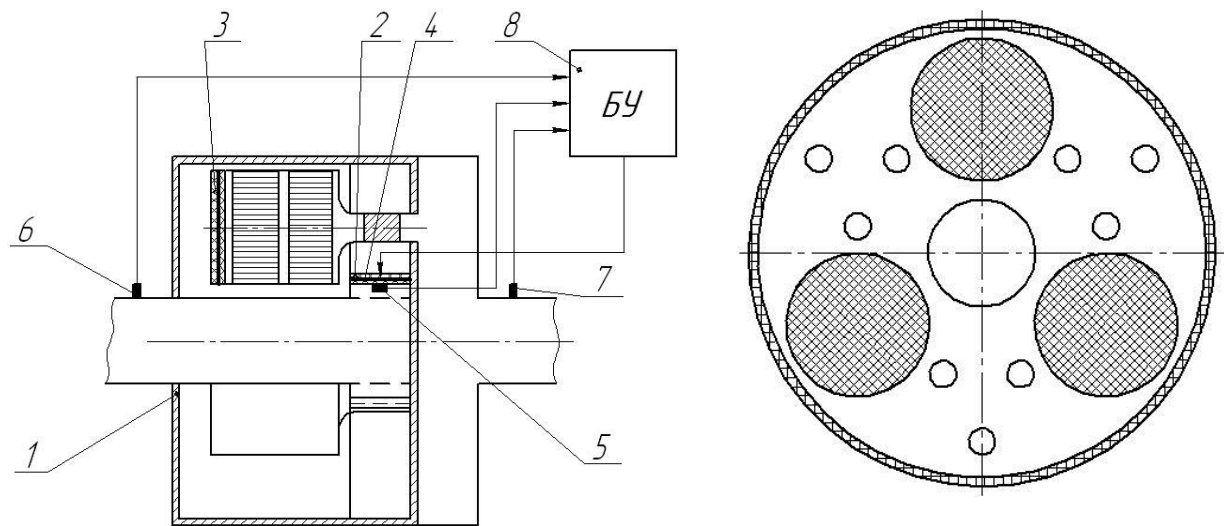


Рис. 3.4. Фільтр ВГ дизеля від частинок сажі:

1 - корпус; 2, 3 – фільтри грубого та тонкого очищення;
4 - нагрівальний елемент; 5 - датчик температури; 6, 7 - датчики тиску на
вході та виході фільтра; 8 - блок керування

Треба розуміти, що запропонований спосіб має певну інерційність, оскільки потрібний час на зміну температури частинок сажі у ВГ. Тому реалізувати його вистивості краще можна на стаціонарних режимах роботи дизеля. Для дизелів, що встановлюються на автомобілях і працюють на перехідних режимах, можна в цілому очікувати часткове покращення процесу фільтрації сажі у ВГ.

Висновки до розділу 3:

1. Проведено газодинамічний аналіз системи очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі. На його основі запропоновано спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі, що полягає в вимірюванні їх тиску перед фільтрацією та після неї, обчисленні радіальної швидкості частинок сажі газового потоку, розрахунку температури частинок сажі, при якій відбувається найкраще їх осадження, порівнянні поточної

температури частинок сажі з її оптимальним значенням і за необхідності підігріву газового потоку.

2. Розроблено пристрій, в якому реалізовано даний спосіб фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизеля регулюванням температури газового потоку.

3. Запропонований спосіб внаслідок своєї інерційності краще реалізується на стаціонарних режимах роботи дизеля. Для дизелів, що встановлюються на автомобілях і працюють на перехідних режимах, слід в цілому очікувати часткове покращення процесу фільтрації.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз процесів фільтрації сажі у відпрацьованих газах автомобільних дизельних двигунів. Показано переваги та недоліки найбільш розповсюджених способів фільтрації, що реалізовано в фільтрах: РМ (Particulate Matter, Particulate Matrix) - відкритого типу; DPF (Diesel Particulate Filter) - закритого типу; FAP TM ("filtre a particules") - закритого типу з функцією регенерації. Наведено особливості їх застосування.
2. Розглянуто роботу і особливості експлуатації пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі (з механічним сепаруванням, плазмового допалювання, електрофільтрувальний та комбіновані пристрої).
3. Показано, що фільтри відпрацьованих газів дизелів від частинок сажі з регенерацією фільтрувальних елементів є найбільш перспективними та екологічно привабливими.
4. Розроблено класифікацію пристроїв для очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі.
5. Проведено газодинамічний аналіз системи очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі. На його основі запропоновано спосіб очищення відпрацьованих газів дизеля від частинок сажі, що полягає в вимірюванні їх тиску перед фільтрацією та після неї, обчисленні радіальної швидкості частинок сажі газового потоку, розрахунку температури частинок сажі, при якій відбувається найкраще їх осадження, порівнянні поточної температури частинок сажі з її оптимальним значенням і за необхідності підігріву газового потоку.
6. Розроблено пристрій, в якому реалізовано даний спосіб фільтрації сажі у відпрацьованих газах дизеля регулюванням температури газового потоку.
7. Запропонований спосіб внаслідок своєї інерційності краще реалізується на стаціонарних режимах роботи дизеля. Для дизелів, що встановлюються на автомобілях і працюють на перехідних режимах, слід в цілому 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. 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.
8. 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.
9. 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.
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. 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.
13. Исследование термokatалитической регенерации сажевого фильтра дизелей / Ю.И. Шеховцов, Л.С. Заиграев // 2004. - № 2. - С. 56-59.
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. Кур'ята В.П., Ільченко А.В. Математична модель відкладання сажі у випускному тракті двигуна автомобіля // Вісник ЖДТУ. – 2006 – №3(38). – С. 20-23.