

## РЕГЕНЕРАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛІВ ЯК АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЧАСТИНА 2

**О. М. Кондратенко, С. О. Вамболь**

Національний університет цивільного захисту України  
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна. E-mail: sergvambol@gmail.com

**О. П. Строков**

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України  
вул. Пожарського 2/10, 61046, м. Харків, Україна. E-mail: kharkivjanyn@i.ua

На основі аналізу інформації зі спеціалізованих науково-технічних літературних джерел, авторських свідоцтв і патентів більш детально розкрито зміст і сутність раніше запропонованої авторами класифікації способів і засобів реалізації процесів регенерації фільтрів твердих частинок дизелів. У даній частині дослідження наведено та проілюстровано конкретні приклади систем бортової регенерації I роду фільтрів твердих частинок дизелів, що належать до окремих пунктів цієї класифікації. У дослідженні подано дані щодо особливостей алгоритмів функціонування таких систем на прикладі автотранспортних засобів, що знаходяться у експлуатації. Виявлено аспекти техногенно-екологічної та пожежної безпеки процесу регенерації як невід'ємного етапу життєвого циклу фільтрів твердих частинок та автотранспортних засобів і спеціальної техніки.

**Ключові слова:** екологічна безпека, пожежна безпека, поллютанти, фільтр твердих частинок, енергетичні установки, двигуни внутрішнього згорання, норми токсичності, відпрацьовані гази.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ ФИЛЬТРОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЕЙ КАК АСПЕКТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. ЧАСТЬ 2

**А. Н. Кондратенко, С. А. Вамболь**

Национальный университет гражданской защиты Украины  
ул. Чернышевская, 94, 61023, г. Харьков, Украина. E-mail: sergvambol@gmail.com

**А. П. Строков**

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  
ул. Пожарского 2/10, 61046, г. Харьков, Украина, E-mail: kharkivjanyn@i.ua

На основе анализа информации из специализированных научно-технических литературных источников, авторских свидетельств и патентов более подробно раскрыто содержание и суть ранее предложенной авторами классификации способов и средств реализации процессов регенерации фильтров твердых частиц дизелей. В данной части исследования приведены и проиллюстрированы конкретные примеры систем бортовой регенерации I рода фильтров твердых частиц дизелей, относящихся к конкретным пунктам этой классификации. В исследовании представлены данные по вопросам особенностей алгоритмов функционирования таких систем на примерах автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации. Выявлены аспекты техногенно-экологической и пожарной безопасности процесса регенерации как неотъемлемого этапа жизненного цикла фильтров твердых частиц и автотранспортных средств и специальной техники.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, поллютанты, фильтр твердых частиц, энергетические установки, двигатели внутреннего сгорания, нормы токсичности, отработанные газы.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Вона обґрунтована в [1] і зумовлена широким застосуванням фільтрів твердих частинок (ФТЧ) дизелів, що здійснюють очищення їх відпрацьованих газів (ВГ) від твердих частинок (ТЧ) задля приведення екологічних показників автотранспортних засобів (АТЗ) і спеціальної техніки (СТ), що оснащені такими двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), до рівня законодавчо встановлених норм. Потреба у періодичному очищенні фільтруючого елемента (ФЕ) ФТЧ від накопичених ТЧ – регенерації (процесу відновлення функціональних якостей ФТЧ) – принципово непереможна і є невід'ємним етапом життєвого циклу ФТЧ будь-якої конструкції, як традиційної, так і нетрадиційної [1].

*Аналіз літературних джерел.* Запропоновану авторами класифікацію способів і засобів здійснення процесів регенерації ФТЧ принципово описано у роботі [2]. При її розробці проаналізовано 54 науково-технічних джерела інформації. У попередній частині дослідження обґрунтовано принципівий поділ цих процесів на регенерацію I і II роду, наве-

дено блок-схему класифікації, а також детально розглянуто і проілюстровано основну частину класифікації, що стосується способів і засобів здійснення регенерації I роду [1] і застосовано до ФТЧ ПМаш у роботі [3].

Метою роботи є уточнення та деталізація виявлених, узагальнених і класифікованих даних зі спеціалізованих літературних джерел з питань способів і засобів регенерації ФТЧ та аспектів техногенно-екологічної і пожежної безпеки цих процесів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Об'єктом дослідження є способи та засоби реалізації процесу регенерації ФТЧ. Задачами дослідження є наступні:

- 1) деталізація побудованої класифікації засобів і методів реалізації процесу регенерації ФТЧ;
- 2) виявлення аспектів техногенно-екологічної і пожежної безпеки цих процесів.

У даній частині досліджено відображено остаточне вирішення першої задачі і часткове – другої.

*Класифікація способів і засобів регенерації ФТЧ.* Залежно від типу фракції ТЧ, від яких має очищува-

тись ФЕ, можна виділити наступні види процесу регенерації [1].

1. *Регенерація ФТЧ I роду* – періодичний процес очищення ФТЧ від накопичених впродовж експлуатації окислених фракцій ТЧ, що є невід'ємною частиною життєвого циклу ФТЧ.

2. *Регенерація ФТЧ II роду* – процес очищення ФТЧ від накопичених впродовж експлуатації неокислених фракцій та продуктів коксування окислених фракцій ТЧ. Процес вирізняється значно більшим міжрегенеративним періодом (або бути взагалі неперіодичним) та може не входити до життєвого циклу ФТЧ (бути факультативним).

*Міжрегенеративний період роботи ФТЧ* – це тривалість роботи ФТЧ від моменту, коли можна вважати, що його повністю незаповненим (пустим, очищеним від) ТЧ до моменту, коли можна умовно вважати (за значеннями характерних показників роботи ФТЧ чи ДВЗ), що у/для ФТЧ треба здійснити процес регенерації. Його тривалість може бути виражено у одиницях часу чи пробігу АТЗ, у одиницях кількості використаного палива чи виробленої енергії ДВЗ, у одиницях напрацювання (мотогодинах).

*Регенерація ФТЧ I роду.* При термічній або термокаталітичній регенерації необхідна підвищена температура ВГ, що може досягатися (або пасивно – мимовільно) переведенням дизеля на номінальний режим роботи чи режим максимального крутного моменту (або активно – примусово). Останнє досягається наступними заходами [1, 2]:

1.1.2.2.1. організацією подачі порцій палива у камеру згоряння (КЗ) дизеля на такті розширення та/або випуску та ініціалізацією його дифузного окислення у ВГ залишковим киснем при проходженні потоку ВГ через каталітичний окислювач ПНЗП, розташованому вище ФТЧ за потоком ВГ [1, 2] (рис. 2,в);

1.1.2.2.2. подачею палива в спеціальну КЗ у випускному тракті з ініціалізацією його дифузного окислення залишковим киснем у ВГ за допомогою

свічок запалювання чи розжарювання, або окисленням у каталітичному допалювачі (доокислювачі, конвертори, перетворювачі) ПНЗП з подальшим автономним підтриманням полум'я [1, 2] (Пат. 63018 87 США, <http://econixdpf.com>) (рис. 2,а,б);

1.1.2.2.3. використанням теплоізоляції корпусу ФТЧ та електронагрівних елементів у конструкції ФТЧ. До таких відносять: свічки розжарювання або ніхромові спіралі у випускному тракті чи тілі ФЕ (з подачею додаткового повітря у ФЕ (Пат. 2075603 РФ) (рис. 1,б) чи без неї (рис. 1,а) (Пат. 2184249 РФ)). Також використовують ФЕ з металевих деталей (Пат. 2183751 РФ) (рис. 1,в). Ці заходи поєднують з циклонами та теплоізолюваними КЗ у ФТЧ (Пат. 2119065 РФ) (рис. 1,г);

1.1.2.2.4. підвищенням водневого числа палива за рахунок подачі водню в свіжий заряд [1, 2];

1.1.2.2.5. використанням НВЧ-випромінювачів, що впливають на потік ВГ (для підвищення температури ВГ і самих ТЧ) чи на самі ТЧ (для термічної деградації вуглеводнів, адсорбованих на сажових ядрах ТЧ) [4, 5] і (Пат. 2044135 РФ) ([1], рис. 4,в).

Термічне окислення ТЧ киснем у ВГ починається при 550–650 °С, при використанні каталітичного покриття ФЕ або подачі каталітичних присадок у паливо або ВГ при 300–400 °С, а окислення ТЧ низькотемпературною плазмою або NO<sub>2</sub> відбувається вже при 200–250 °С [1, 2].

Присадки до палива для прискорення регенерації Wynn's Diesel Power 3 чи EOLYS фірми Rhodia [7] – це 4,2 % органічний розчин церію (оксиду церію), що подається у паливний бак спеціальної форсункою одноразово кількістю, відповідній об'єму заправленого у АТЗ палива (при заглошеному двигуні). Присадку розроблено для зниження температури горіння сажі нижче порогу горіння з 450 до 350 °С і нижче за рахунок розпушення ТЧ, що робить умови регенерації більш пожежобезпечними і економічними. Однак при згорянні ТЧ оксид церію не окислюється й осідає у ФЕ, що знижує його ресурс.

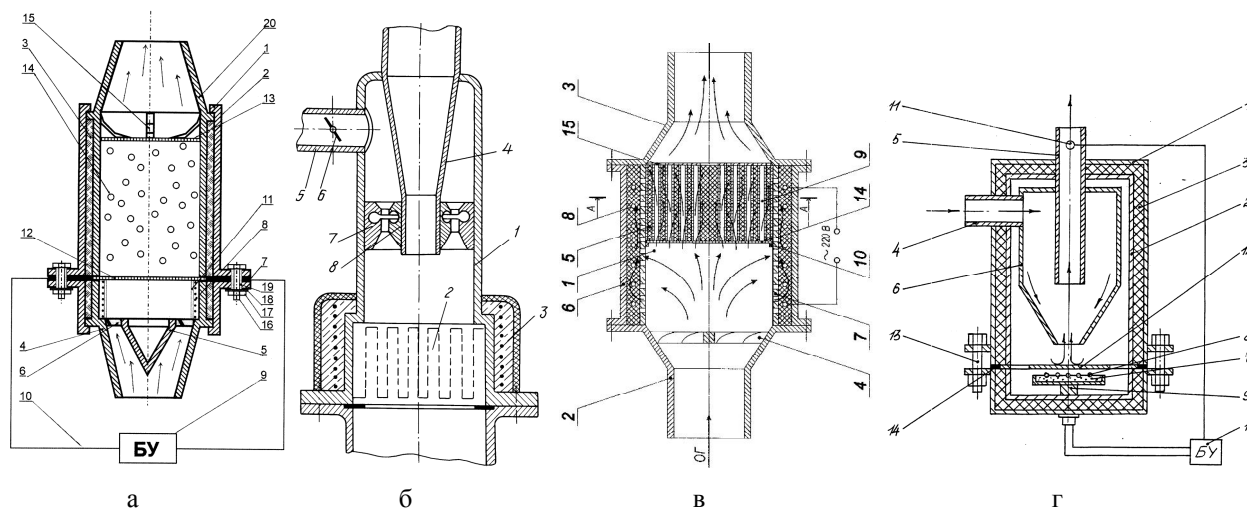


Рисунок 1 – ФТЧ з електронагрівальними елементами у тепло- та електроізолюваному корпусі: без подачі (а) (Пат. 2184249 РФ) і з подачею додаткового повітря у КЗ (б) (Пат. 2075603 РФ); із металевим ФЕ (в) (Пат. 2183751 РФ); з інерційним відсіюванням ТЧ (г) (Пат. 2119065 РФ)

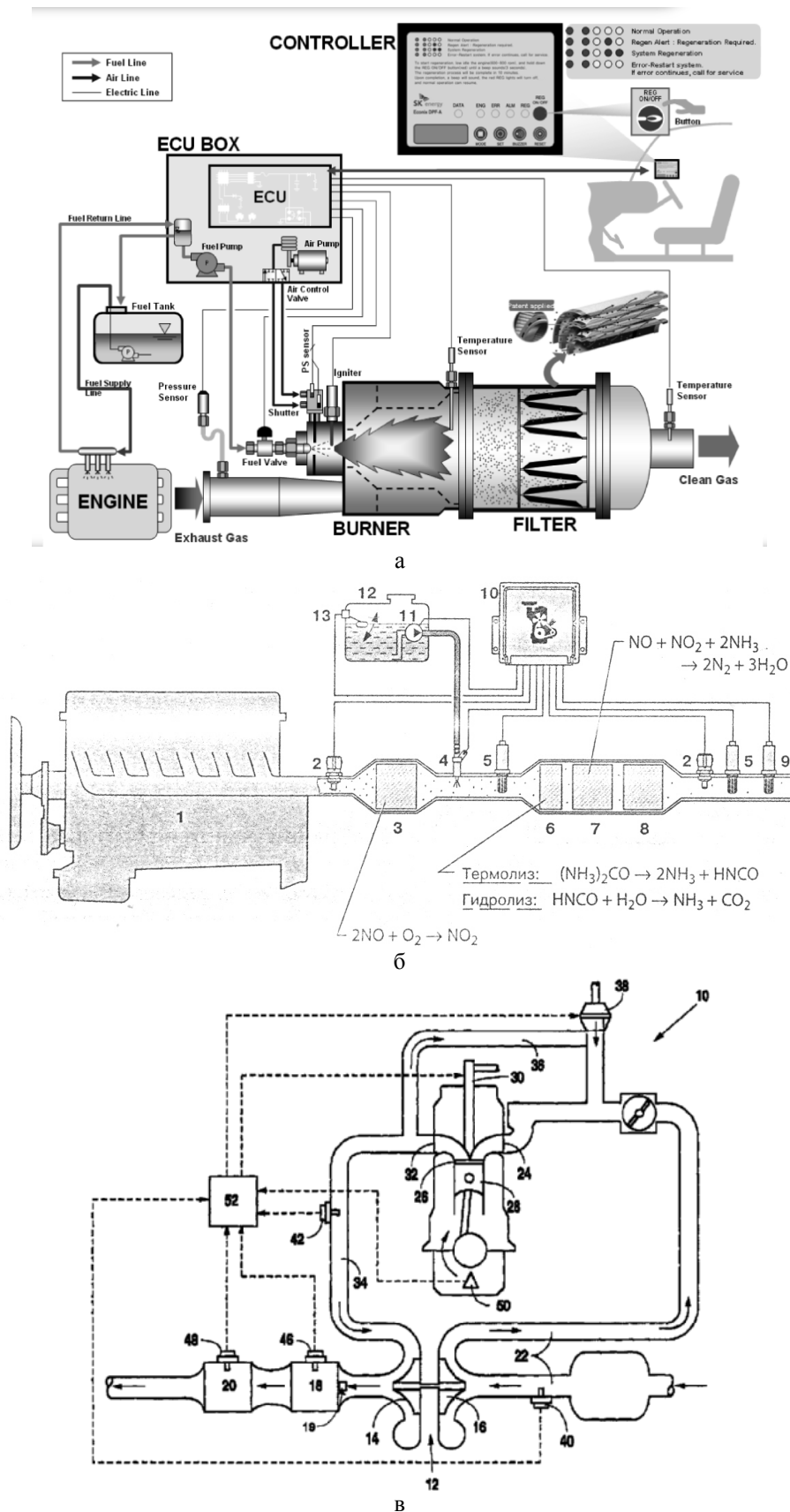


Рисунок 2 – Бортові системи термокаталітичної регенерації I роду ФТЧ: а – фірми Ecomix-DPF із подачею додаткового повітря до КЗ у корпусі ФТЧ, упорскуванням до неї палива окремою системою паливоподачі під керуванням окремою САК із власним ЕБК (<http://ecomixdpf.com>); б – фірми Bosch із упорскуванням порцій палива у випускну систему дизеля, без подачі додаткового повітря у випускну систему дизеля, окремим контуром у САК дизелем [6]; в – фірми Engelhart із упорскуванням порцій палива у КЗ дизеля, без подачі додаткового повітря у випускну систему дизеля, із системою рециркуляції ВГ дизеля, окремою гілкою у алгоритмі паливоподачі ЕБК у САК дизелем (Пат. 6301887 США)

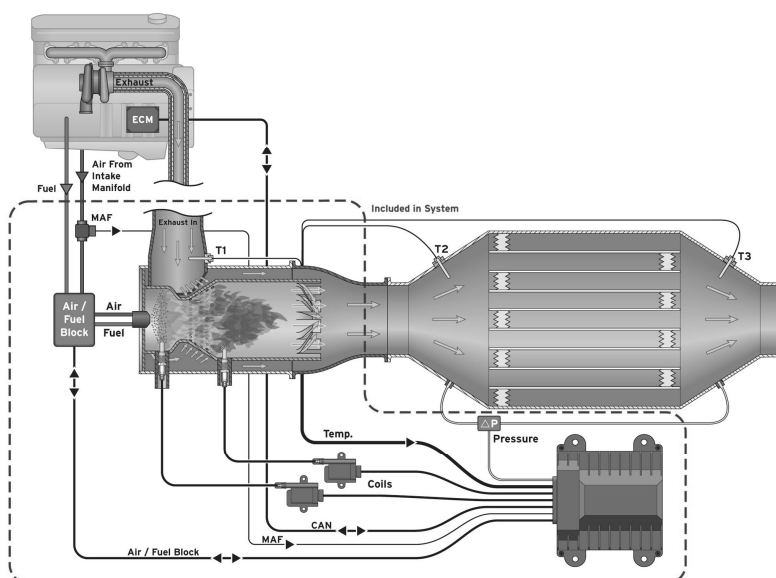


Рисунок 3 – Система зниження токсичності ВГ дизеля фірми Woodward з бортовою системою термічної регенерації I роду з окремою КЗ (<http://www.wood-ward.com/emissioncontrols.aspx>)

Регенерацію I роду також слід розділити на наступні види [1, 2, 6, 8].

1) Мимовільна (неконтрольована, пасивна) – при досягненні умов (параметрів ВГ), необхідних для початку і підтримання процесу окислення ТЧ у ФТЧ, при роботі дизеля на режимах, що характеризуються такими параметрами ВГ без участі бортової системи регенерації.

Залежно від кількості накопичених ТЧ у ФЕ, цей процес може перебігати в наступних режимах:

а) штатний – умови перебігу процесу не викликають негативних наслідків для матеріалу ФЕ, його каталітичного покриття і корпусу ФТЧ;

б) аварійний – швидке згоряння великої кількості накопичених ТЧ, що нерівномірно підвищує температуру матеріалу ФЕ і призводить до його термошоккового руйнування (зі зміщенням каналів для руху ВГ та їх перекриттям (замикання ФЕ), або з утворенням наскрізного отвору в ФЕ (пробою ФЕ)), або його оплавлення, руйнування його каталітичного покриття або прогару корпусу ФТЧ.

Наприклад, у 2011 р. компанія Ford відкликала 37400 одиниць вантажних АТЗ серії F із дизелями у зв'язку з пожежонебезпекою їх ФТЧ, чутливих до витоків палива при порушеннях процесу регенерації та схильних до спонтанної регенерації ФТЧ із великою кількістю накопичених ТЧ (<http://www.street-racing.in.ua/news/ /8315.html>); фірма Jaguar у 2005–2007 роках з аналогічної причини відкликала всі АТЗ марки S-Type із дизелями XJ (<http://www.zavedi.ru/world-news/?id=950>).

2) Примусова (контрольована, активна) – при створенні умов (параметрів ВГ), необхідних для початку і підтримання процесу окислення ТЧ у ФТЧ за допомогою засобів бортової системи регенерації.

Залежно від кількості накопичених ТЧ у ФЕ і низки інших чинників, цей процес може здійснюватися в таких режимах:

а) штатний – при досягненні розрахункового рівня кількості накопичених ТЧ у ФЕ (або інших показників – див. далі), який нижче критичного, небезпечного для безаварійного здійснення процесу, проте створює такий гідравлічний опір (ГО) ФТЧ, вище якого електронний блок керування (ЕБК) дизелем визначає режим його роботи як аварійний. Принцип дії бортової системи регенерації I роду системи зниження токсичності фірми Woodward і конструкція її КЗ подана на рис. 1 (<http://www.wood-ward.com/emissioncontrols.aspx>);

б) аварійно-штатний – при досягненні критичного значення розрахункового рівня кількості накопичених ТЧ у ФЕ (або інших показників), при якому є небезпека виходу з ладу елементів ФТЧ або переривання процесу регенерації, але регенерацію все ще можливо здійснити засобами бортової системи при переведенні дизеля на особливий режим роботи;

в) аварійний – той самий, що й попередній, але здійснення процесу штатною системою регенерації при заводських налаштуваннях ЕБК або на борту АТЗ узагалі неможливо.

Такий режим також реалізується при регенерації ФТЧ, ресурс яких вичерпано з причини фізичного зносу (викликаного газової високотемпературної ерозією і абразивним зносом, руйнуванням каталітичного покриття), або у зв'язку з необхідністю здійснення регенерації II роду, коли рівень накопичених нерозчинних і закоксованих розчинних фракцій ТЧ у ФЕ досяг критичного значення.

Здійснення примусової регенерації I роду в аварійно-штатному режимі можливе у наступних локаціях [1, 2, 6, 9] і (Пат. № 7655194 США):

– на борту АТЗ засобами бортової системи регенерації при ініціації процесу безпосереднім управлінням ЕБК на СТО;

– на борту АТЗ при використанні засобів перетворення (розчинення і перерозподілу в тілі ФЕ) на-

копичених ТЧ спеціальними засобами;

– поза бортом АТЗ промиванням ФЕ РР (водою) під тиском до 1,5 МПа уручну чи на спеціалізованому автоматичному стенді, або здійсненням термічної регенерації на спеціальному обладнанні.

Так, наприклад, система очищення ФТЧ від ТЧ виробництва фірми LIQUI MOLY (<http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyuy-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>) (рис. 4,а) містить наступні компоненти:

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

Вона використовується у випадку неможливості (або небажання) проведення примусової аварійної регенерації ФТЧ у складі АТЗ. Рідина-розчинник (1 дм<sup>3</sup>) подається до ФТЧ безпосередньо на поверхню ФЕ розпилювачем-пістолетом порційно (по 5–10 впорскувань із перервами в 5–10 с) через один із спе-

ціальних зондів, що вводиться в корпус ФТЧ через штуцер датчика температури, під тиском 6–8 бар. Після цього аналогічним чином ФЕ обробляється промивачем-ополіскувачем (0,5 дм<sup>3</sup>) (рис. 4,б). Обидві рідини самостійно випаровуються з поверхонь ФЕ і виводяться з випускної системи дизеля. Система придатна тільки для очищення ФТЧ легкових автомобілів і легких вантажівок (що обмежується довжиною каналів у ФЕ) відразу після зупинки дизеля, що не знаходяться в безпосередній близькості від *турбокомпресора* (ТКР) і випускного колектора, оскільки реагенти агресивні до матеріалів випускних клапанів і деталей КЗ дизеля. У процесі обробки ТЧ розчиняються і в такому вигляді перерозподіляються в об'ємі ФЕ таким чином, що стає можливою примусова або пасивна регенерація ФТЧ у штатному режимі після пробної поїздки АТЗ тривалістю 20 хв. Рекомендована частота процедури – при кожній другій заміні моторного масла або при кожному ТО АТЗ.



а



б

Рисунок 4 – Система очищення ФТЧ від ТЧ (примусової регенерації I роду в аварійно-штатному режимі) виробництва фірми LIQUI MOLY (<http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyuy-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>)

Виготовляються також системи очищення-розчинення-промивки ФЕ від ТЧ у форм-факторі аерозольних балонів, подібні до вищеописаної. Ці системи вирізняються наступними недоліками (<http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyuy-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>):

- 1) низький тиск розпилювання;
- 2) низька ефективність для аварійної регенерації;
- 3) форма струменя допускає втрати до 1/3 реагентів;
- 4) оснащені пластиковими зондами невисокої жорсткості (змінює характеристики струменя) і жа-

ростійкості (вимагає зупину АТЗ і дизеля, охолодження ВГ до температури нижче 100 °С);

5) мінливість тиску впорскування, неможливість використання реагенту після досягнення тиску в аерозольному балоні нижче 1 бар унаслідок перевитрати інертного газу);

6) не містять ополіскувача, агресивні до матеріалів деталей ФТЧ.

Примусова регенерація ФТЧ I роду в штатному режимі поза бортом АТЗ широко використовується на промислових підприємствах і у гірничодобувній галузі, особливо у вугільних шахтах, де наявність

бортової системи регенерації (і, відповідно, здійсненні цього процесу в шахті) заборонено вимогами техніки безпеки. Для *автотранспортних підприємств* (АТП) із парком міського транспорту, будівельних і дорожніх машин, сільськогосподарської техніки стратегія регенерації ФТЧ поза бортом АТЗ не тільки можлива, а й широко застосовується, оскільки дозволяє здійснювати її централізовано і передбачає щоденний огляд ФЕ, як однієї з найдорожчих і ненадійних деталей АТЗ [1, 2], ([http://www.logist.com.ua/ware-house/tehnika/clean\\_forklifts.htm](http://www.logist.com.ua/ware-house/tehnika/clean_forklifts.htm)) і ([http://old.uzt.com.ua/pbs.php?pbl\\_action=view&pbl\\_id=615](http://old.uzt.com.ua/pbs.php?pbl_action=view&pbl_id=615)).

Усі бортові системи примусової регенерації вимагають витрат енергії (а фактично – палива), ускладнюють конструкцію і компоновку ДВЗ і АТЗ і вимагають наявності окремої системи автоматичного керування (САК), або контуру управління, або окремої гілки алгоритму управління в ЕБК САК дизелем.

ВИСНОВКИ. Таким чином, у даній частині дослідження на основі проведеного аналізу даних, що містяться в спеціалізованих літературних джерелах щодо питань способів реалізації процесу регенерації ФТЧ різних типів і засобів їх реалізації, більш детально розкрито зміст класифікації таких засобів, розробленої авторами.

У даній частині дослідження представлено частину цієї класифікації, що стосується:

- особливостей термokatалітичного способу регенерації ФТЧ I і II роду;
- режимів і алгоритмів регенерації I роду на конкретних автотранспортних засобах, що перебувають у реальній експлуатації;
- особливостей конструкції та роботи бортових систем регенерації I роду ФТЧ, що перебувають у реальній експлуатації.

Решта пунктів класифікації, що стосується питань регенерації II роду буде подана у третій частині дослідження.

Аспекти техногенно-екологічної та пожежної і вибухової безпеки процесів регенерації також представлені у наступній частині дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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.
2. Регенерация фильтров твердых частиц дизелей / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.А. Вамболь, В.М. Семикин // Двигатели внутреннего сгорания. – № 1. – Харків: НТУ «ХПИ», 2014. – С. 89–95.
3. 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», 2014. – № 2. – С. 76–81.
4. Автомобіль та навколишнє середовище / П.М. Канило, І.С. Бей, О.І. Ровенський – Харків: Прапор, 2000. – 304 с.
5. Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-екологические проблемы и перспективы: монография. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2013. – 270 с.
6. BOSCH. Автомобильный справочник: перевод с английского / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с.
7. Twigg M.V. Advanced Exhaust Emissions Control. A selective review of the Detroit 2000 SAE World Congress // Platinum Metals Review. – 2000 – № 44 (2). – PP. 67–71.
8. Исследование термokatалитической регенерации сажевого фильтра дизелей / Ю.И. Шеховцов, Л.С. Заиграев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2004. – № 2. – С. 57–59.
9. BOSCH. Системы управления дизельными двигателями; пер. с нем. Первое русское издание / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 485 с.

## REGENERATION PARTICULATE FILTER DIESEL ENGINES

### AS ASPECT ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY OPERATION OF THE VEHICLE. PART 2

**O. Kondratenko, S. Vambol**

National University of Civil Defense of Ukraine

vul. Chernyshevska, 94, Kharkiv, 61023, Ukraine. E-mail: sergvambol@gmail.com

**O. Strokov**

A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine

vul. Pozharskogo, 2/10, Kharkiv, 61046, Ukraine, E-mail: kharkivjanyn@i.ua

In present paper it is disclosed in more detail the content and the essence of the previously proposed by authors classification of methods and means to implement the processes of regeneration of particulate matter filters (DPF) of diesel internal combustion engines (ICE), which based on an analysis of information from specialized scientific and technical literature, copyright inventors certificates and patents. In this part of research it is presented and illustrated by concrete examples of onboard systems of regeneration of 1<sup>st</sup> kind relating to specific points of this classification. Also in this study it is presented data on the features of the operation algorithms of such systems on the examples of vehicles, which are in operation. It is identified aspects of man-caused environmental and fire safety of a regeneration process as an integral part of the lifecycle of DPF, vehicles and special equipment.

**Key words:** exhaust gases, toxicity, environmental and fire safety, diesel engine, diesel particulate filter, soot.

## REFERENCES

1. Kondratenko, O.M., Stokov, O.P., Vambol', S.O. (2014), "The regeneration of particulate matter filters for diesel engines as an aspect of ecological safety of operation of vehicles. Part 1", *Transactions of Kremen-chuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 6 (89), vol. 1, pp. 158–165.
2. Kondratenko, A.N., Stokov, A.P., Vambol', S.A., Semykin, V.M. (2014), "Regeneration of diesel particulate matter filters", *Internal Combustion Engines*, no. 1, pp. 89–95.
3. Kondratenko, A.N., Stokov, A.P., Vambol', S.A., Avramenko, A.N. (2014), "Regeneration of particulate matter filter with bulk natural zeolite for diesel engine", *Internal Combustion Engines*, iss. 2, pp. 76–81.
4. Kanilo, P.M., Bej, I.S., Rovens'kyj O.I. (2000), "Avtomobil ta navkolyshnje seredovyshe" [Car and Environment], Prapor, Kharkiv, Ukraine.
5. Kanilo, P.M. (2013), "Avtotransport. Toplivno-ekologicheskie problemy i perspektivy: monografija" [Automotive transport. Fuel and Ecological Problems and Prospects: Monograph], Publ. KhNADU, Kharkov, Ukraine.
6. Robert Bosch GmbH. (2002), "BOSCH. Avtomobil'nyj spravochnik: perevod s anglijskogo" [BOSCH. Car Handbook: translation from English], Publ. ZAO KZhI "Za rulem", Moscow, Russia.
7. Twigg, M.V. (2000), "Advanced Exhaust Emissions Control. A selective review of the Detroit 2000 SAE World Congress", *Platinum Metals Review*, no. 44 (2), pp. 67–71.
8. Shehovcov, Ju.I., Zaigraev, L.S. (2004), "A study of catalytic thermal regeneration of diesel soot filter", *Internal Combustion Engines*, no. 2, pp. 57–59.
9. Robert Bosch GmbH. (2004), "BOSCH. Sistemy upravlenija dizel'nymi dvigateljami. Perevod s nemetskogo" [BOSCH. Control systems for diesel engines. Translated from the German], Publ. ZAO KZhI "Za rulem", Moscow, Russia.

Стаття надійшла 16.06.2015.