

РЕГЕНЕРАЦІЯ ФІЛЬТРІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛІВ ЯК АСПЕКТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ. ЧАСТИНА 3

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: kharkivjanup@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 типові алгоритми роботи бортових систем регенерації I роду на прикладі автотранспортних засобів, що перебувають у експлуатації, а також розкрито зміст та проілюстровано пункти класифікації щодо особливостей процесу регенерації фільтрів твердих частинок II роду. 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, 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 3

А. Н. Кондратенко, С. А. Вамболь

Национальный университет гражданской защиты Украины
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, 61023, 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: kharkivjanup@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 типичные алгоритмы работы бортовых систем регенерации I рода на примерах автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации, а также раскрыто содержание и проиллюстрированы пункты классификации, относящиеся к особенностям процесса регенерации фильтров твердых частиц II рода. 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. Її наведено і обґрунтовано у першій частині дослідження. Її зумовлено 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 неперервна і є невід'ємним етапом життєвого циклу ФТЧ будь-якої конструкції, як традиційної, так і нетрадиційної [1, 2].

Аналіз літературних джерел. Запропоновану авторами класифікацію способів і засобів здійснення процесів регенерації ФТЧ принципово описано у роботі [3]. У попередній частині дослідження обґрунтовано принципівий поділу цих процесів на регенерацію I і II роду, наведено блок-схему класифікації, а також детально розглянуто і проілюстровано

основну частину класифікації для способів і засобів здійснення регенерації I роду [1–3].

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 повне другої.

Регенерація ФТЧ I роду (продовження). Переважна більшість АТЗ, що відповідають нормам токсичності рівня EURO-IV і EURO-V і оснащених у зв'язку з цим системами автоматичного керування (САК) паливоподачею, турбокомпресором (ТКР) і

системою рециркуляції ВГ, мають бортову систему регенерації (БСР) ФТЧ, яка реалізується на базі вже наявних САК і виконавчих органів цих систем [1–5].

Так, наприклад, в електронному блоці керування (ЕБК) САК автомобіля VW Tuareg з дизелем VW 3.0 V6 TDI (з робочим об'ємом $z \cdot V_h = 3,2$ л і номінальною ефективною потужністю $N_e = 220$ к.с.) виконуються визначення розрахунок прогнозованого рівня засмічення ФТЧ двома шляхами одночасно [6]:

1) у функції показань датчика перепаду тиску на ФТЧ, датчиків температури ВГ на вході і виході з ФТЧ і масових витрат ВГ;

2) спираючись на статистичну інформацію про стиль керування (пробіг АТЗ, витрати ВГ, час експлуатації), показання датчиків кисню у ВГ і температури ВГ на вході і виході з ФТЧ.

Для здійснення пасивної регенерації ФТЧ зазначеного АТЗ рекомендується дотримуватися швидкості руху АТЗ не нижче за 60 км/год при $n_{кв}$ дизеля не менше 2000 $хв^{-1}$.

Примусова регенерація [1–3] автоматично у описаного АТЗ починається при досягненні:

- 1) розрахункового рівня заповнення ФТЧ 80 %;
- 2) перепаду тиску ВГ на ФТЧ, рівного 25 кПа;
- 3) різниці температур ВГ на ФТЧ 34 °С;
- 4) певного пробігу АТЗ без регенерації;
- 5) певного часу роботи дизеля без регенерації.

Необхідні умови початку процесу:

1) тривалість роботи дизеля після запуску більш за 2 хв.;

2) температура охолоджуючої рідини (ОР) дизеля не менше за 70 °С протягом останніх 2 хв., але не вище за 90 °С;

3) у ЕБК немає інформації про відмови елементів систем паливоподачі, впуску та очищення ВГ;

4) досягнуто мінімально необхідної швидкості АТЗ, що залежить від ступеня заповнення ФТЧ (для 80 % – 100 км/год);

5) рівень палива в баку вище за 1/4.

При активній регенерації його ЕБК подає наступні управляючі імпульси:

- 1) закриття клапана системи рециркуляції ВГ;
- 2) зміна нахилу лопаток направляючого апарату ТКР;

3) подача доз палива до камер згоряння (КЗ) дизеля після основної паливоподачі, які окислюються в каталітичному нейтралізаторі (КН) продуктів неповного згоряння палива (ПНЗП), внаслідок чого підвищується температура ВГ.

При цьому додаткова доза палива частково потрапляє в картер і систему змащення дизеля, що при частому повторенні ситуації аварійного переривання процесу примусової регенерації може привести до істотної втрати кондиції моторної оливи.

Умови закінчення примусової регенерації:

1) досягнуто максимальний час, відведений на процес, визначений з умови термостійкості деталей ФТЧ і витратами палива на здійснення процесу (20–25 хв.);

2) дизель зупинено (аварійне);

3) дизель переведений на режим холостого ходу і пропрацював на ньому 5–10 хв.;

4) температура ВГ досягла значення 1000 °С;

5) виявлені збої в роботі систем паливоподачі, впуску та очищення ВГ.

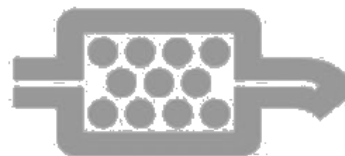
При виконанні всіх умов, необхідних для примусової чи пасивної регенерації, процес повністю завершується за 10 хв., при найменш сприятливому збігу чинників – за 25 хв.

Середньоексплуатаційні питомі ефективні витрати палива дизелем при використанні примусової регенерації зазвичай підвищуються не більше, ніж на 10 г/(кВт·год) і збільшуються в міському циклі експлуатації, а викиди CO_2 (парниковий газ) дизелем зростають не більше, ніж на 0,05 %. При перших 1000 км пробігу АТЗ частота примусової регенерації у 2–3 рази більша, ніж у ході подальшої експлуатації. Це дозволяє компенсувати явища, що супроводжують приробку дизеля і самого ФТЧ [1–3].

При тривалій неможливості здійснення примусової регенерації в штатному режимі ЕБК сигналізує водієві АТЗ (індикатор "Check DPF" на контрольній панелі (рис. 1,б)), і переводить дизель на аварійний режим роботи з обмеженням номінальної потужності на 30–40 %, про що також сигналізується водієві АТЗ (індикатор "Check Engine" рис. 1,а). Межею заповнення ФТЧ ТЧ, обмеженою з міркувань пожежної безпеки, є 105–125 % від його номінальної ємності [6].



а)



б)

Рисунок 1 – Типовий вигляд індикаторів панелі приладів АТЗ "Check Engine" (а) і "Check DPF" (б)

Аварійна примусова регенерація в умовах станції технічного обслуговування (СТО) (ініціюється штучно) для того ж АТЗ здійснюється за на режимі холостого ходу (стоянкове гальмо ввімкнено, коробка зміни передач (КЗП) в положенні нейтральній передачі або в положенні "Parking") при $n_{кв} = 1500$ $хв^{-1}$ при досягненні розрахункового рівня накопичених ТЧ у ФТЧ більше за 68 г і температурі моторної оливи не нижче 70 °С. При цьому температура ВГ перед ТКР повинна перевищувати 690 °С, а коефіцієнт надлишку повітря у ВГ α повинен знаходитися в межах 1,0–2,0. Процес здійснюється при включеному запаленні, але виключених споживачах електроенергії, що не беруть участь в процесі, і при закритому капоті. Час процесу – до 40 хв. [6].

Примусова регенерація дизеля Isuzu 4HL1, на відміну від попереднього прикладу, в штатному та аварійно-штатному режимах [1–3] здійснюється піс-

ля інформування водія про її необхідність і постановки АТЗ на стоянкове гальмо, ініціюється відповідною кнопкою (після чого не слід робити якінебудь дії) – на режимі холостого ходу з $n_{\text{кр}} = 900 \text{ хв}^{-1}$, при цьому включається автомат прогріву ВГ, тривалість процесу 20–40 хв. [7].

Ресурс системи очищення ВГ від ТЧ визначається ресурсом його ФЕ і складає 120–200 тис. км пробігу АТЗ й вичерпується з причини заповнення ФЕ продуктами коксування ТЧ і їх неокислюваними компонентами, а також абразивного зносу матеріалу ФЕ і можливого його термошокового пошкодження з втратою пропускну здатності. Цей показник визначається умовами експлуатації і технічного обслуговування (ТО) АТЗ. Наприклад, при використанні неякісного палива, він знижується до споживання десяти повних заправок паливом АТЗ. При експлуатації АТЗ в міському циклі в умовах мегаполісу термін служби ФТЧ становить 50 тис км пробігу. Оскільки найгірша модель експлуатації з точки зору заповнення ФТЧ і можливості його регенерації передбачає велику кількість нетривалих поїздок в міському циклі без великих навантажень (таксі, кур'єрська служба, міський транспорт), що призводить до збільшеного викиду ТЧ, підвищеної витрати палива, розбавленню їм моторного мастила і частим перериванням початку процесів примусової регенерації, відсутності пасивної регенерації. За такої моделі експлуатації АТЗ необхідно кожні 700 км пробігу не менше ніж на 20 хв. виводити дизель на режим роботи з $n_{\text{кр}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$ при русі АТЗ [3, 6–8].

При цьому, якщо температура ВГ у ФТЧ не досягає 450 °С протягом 1 години після пуску дизеля, він автоматично переводиться в аварійний режим роботи. ЕБК відстежує динаміку засмічення ФТЧ не тільки між регенераціями, але і протягом всього терміну експлуатації, при цьому механічне очищення ФЕ від неокислюваних компонентів ТЧ під час чергового ремонту або ТО АТЗ при досягненні граничного стану ФТЧ не обнуляє цей лічильник, що призводить до автоматичного переведення дизеля на аварійний режим роботи і може вимагати ручного обнулення кожні 500–600 км пробігу АТЗ. Також ЕБК може дати рекомендацію щодо заміни ФЕ або всього ФТЧ [3, 6–8].

Регенерація ФТЧ II роду. При регенерації II роду здійснюється очищення ФЕ від неокислюваних фракцій ТЧ і продуктів коксування окислюваних фракцій при досягненні ним критичного стану, що і є причиною необхідності здійснення регенерації II роду. Процес може бути неперіодичним, або взагалі не входить до життєвого циклу ФТЧ [1–3].

За видом об'єкти, для якого цей процес здійснюється, поділяються наступним чином.

2.1. ФТЧ *традиційної конструкції* [9], що містять керамічні ФЕ стільникової структури з газопроникними стінками, а також подібних їм за принципом роботи нетрадиційні ФТЧ [10], що містять ФЕ зі сталеві фольги, сталевий ткані сітки або сталеві мікрофібри. Для них цей процес здійснюється поза бортом АТЗ при черговому ТО або при досягненні критичного рівня гідравлічного опору (ГО) ФТЧ.

Його здійснюють одним з наступних способів:

2.1.1. спосіб 1.2.4 з подальшим очищенням зворотнім потоком атмосферного повітря;

2.1.2. те саме, що і 2.1.1, але без відпалу;

2.1.3. шляхом зворотного промивання ФЕ РР (водою) під тиском до 1,5 МПа вручну за допомогою таких пристроїв:

2.1.3.1. портативної установки, наприклад OTC Portable Diesel DPF Cleaner (рис. 2) [8, 11];

2.1.3.2. спеціалізованому стаціонарному автоматичному стенді, наприклад FSX Complete Cleaning Package (рис. 3) (<http://www.fsxinc.com>).

ФТЧ нетрадиційної конструкції, що містять різного виду насипки та/чи намотки, є подібними до традиційних за принципом роботи. Для них процес регенерації II роду здійснюється шляхом зміни насипки з подальшим очищенням самої насипки та знешкодженням її продуктів – аналогічно до 2.1.

2.2. ФТЧ *нетрадиційної конструкції* (рідинні, паперові та деякі інші) [9, 10]. Для них процес регенерації II роду ідентичний процесу регенерації I роду, тобто відбувається шляхом зміни РР з її подальшою фільтрацією чи шляхом зміни одноразового робочого тіла з подальшим їх знешкодженням – способами 1.2.1, 1.2.4, 1.1.1.5, 2.1.2, 2.1.3 [1–3].

Іноді, коли таку процедуру виконують у місцях централізованого ТО АТЗ з дизелями, досягнення кожним конкретним ФТЧ критичного стану не відстежують, а проводять регенерацію ФЕ превентивно. Однак, для отримання інформації про режими і тривалість процесу, попередньо визначають стан кожного ФЕ на спеціальних стендах, наприклад компанії DPG (<http://www.cambustion.com/products/dpg>) (рис. 4). На тому ж стенді проводять регенерацію ФЕ, що знятий з АТЗ і демонтований з корпусу ФТЧ термічним способом. У якості джерела енергії використовують очищене дизельне паливо.

Усіма вищенаведеними позабортовими спробами і засобами здійснення регенерації II роду можливо здійснити і регенерацію I роду.

Те саме відноситься і до випадку реалізації регенерації I роду шляхом БСР зі зворотною продувкою ФЕ потоком ВГ [1–3] – таким чином можливо реалізувати і регенерацію II роду механічним способом.

Аспекти екологічної безпеки використання ФТЧ. Їх зумовлено наступними чинниками.

1) Особливості дизелів як джерела забруднення навколишнього середовища взагалі, та кількісний і якісний склад їх ВГ зокрема. У ВГ дизелів до 90 % приведеної токсичності складають оксиди азоту NO_x і тверді частинки ТЧ, при цьому на ТЧ припадає 20–45 %. Це у свою чергу зумовлено тим, що у складі ТЧ містяться поліциклічні ароматичні вуглеводні, що вирізняються канцерогенною і мутагенною дією на людину і тварин. Крім того, до появи у ВГ дизелів цих двох видів законодавчо нормованих поллютантів призводять антагоністичні фактори [3].

2) Моделлю експлуатації АТЗ, обладнаного дизелем певної конструкції і призначення та його конкретними показниками екологічності та продуктивності, що чинить безпосередній вплив на абсолютну величину масового викиду ТЧ з його ВГ.



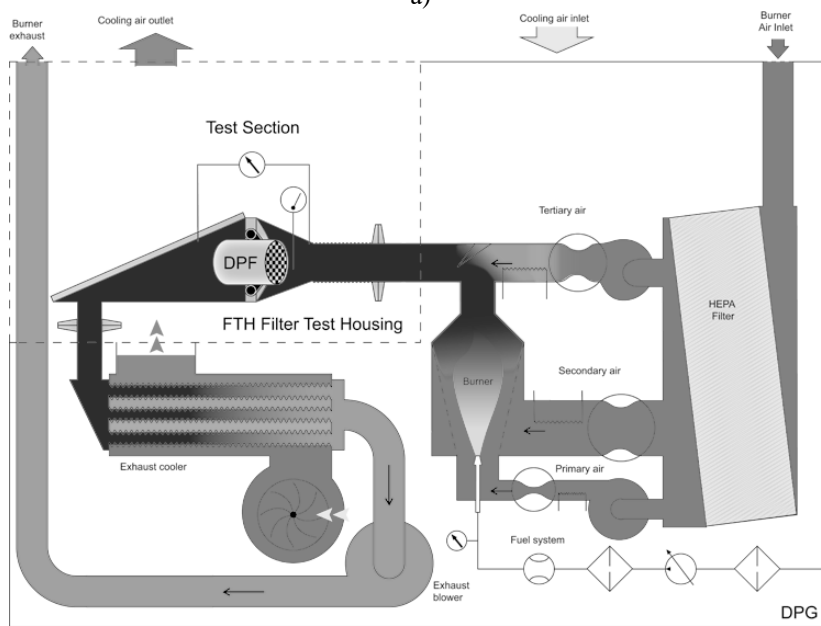
Рисунок 2 – Портативна установка для регенерації II роду ФТЧ OTC Portable Diesel DPF Cleaner (<http://www.otctools.com/products/otc-portable-diesel-particulate-filter-cleaner>)



Рисунок 3 – Стационарний стенд для регенерації II роду ФТЧ FSX Complete Cleaning Package) (<http://www.fsxinc.com>)



а)



б)

Рисунок 4 – Автоматизований спеціалізований стенд для діагностування стану ФЕ та термічної регенерації II роду компанії DPG (а) та схема його роботи (б) (<http://www.cambustion.com/products/dpg>)

3) Ефективністю роботи ФТЧ, тобто частиною вилучених з потоку ВГ і знешкоджених ТЧ із загального обсягу їх масового викиду дизелем. Слід врахувати також зміну цієї робочої характеристики ФТЧ у залежності від режимних, конструктивних, регульовальних та інших параметрів дизеля.

4) Особливостями організації та перебігу процесів регенерації ФТЧ. При цьому слід врахувати принципову різницю між процесами регенерації I і II роду. Найчастіше регенерацію I роду реалізують БСР АТЗ термokatалітичним способом. При цьому

окислення ТЧ проходить у несталому режимі, може перериватися і виробляти токсичні продукти. Найчастіше регенерацію II роду реалізують за допомогою позабортових систем, при цьому ФТЧ промивається у зворотному напрямку водою. Отримана суспензія ТЧ у воді має бути відфільтрована, отриманий фільтрат має бути випарований (осушений), отриманий сухий концентрат ТЧ має бути спалений у сталому режимі (наприклад, у топці міні-котельні чи заводу зі спалювання твердих побутових відходів).

Аспекти пожежо- і вибухобезпеки використання ФТЧ. Вони полягають у наступному.

1) ФТЧ можливо і раціонально застосувати для АТЗ і СТ, що перебувають у експлуатації Державною службою з надзвичайних ситуацій України (ДСНСУ) і не оснащені засобами зниження токсичності їх ВГ з моменту випуску.

2) Особливо доцільно використання ФТЧ будь-якої конструкції для очищення ВГ АТЗ і СТ, що працюють в умовах обмеженого повітрообміну та місцях скупчення людей чи тварин. Це будівельні, складські, шахтні машини, маневрові тепловози, міський транспорт, судна у акваторіях портів, АТЗ у природоохоронних та рекреаційних територіях, військова техніка.

3) Різноманітність способів і методів регенерації ФТЧ, зумовлена різноманітністю їх конструкцій та моделей експлуатації, зумовлює можливість їх застосування для АТЗ і СТ, до яких висувають особливі вимоги до пожежо- та вибухобезпеки. Це АТЗ і СТ, зайняті на роботах у приміщеннях, заповнених гримучими сумішами. Прикладами таких сумішей є:

- суміш повітря з парами паливно-мастильних матеріалів (ПММ),
- суміш повітря з горючими газами,
- аерозоль з повітря і пилом горючих речовин.

Тобто це АТЗ і СТ, що працюють у шахтах, на аеродромах, автозаправних станціях, сховищах ПММ, складах сипкої продукції.

4) Здатність ФТЧ деяких конструкцій, наприклад ФТЧ ППМаш, до іскрогасіння сприяє також можливості його застосування для сільськогосподарської техніки в умовах збору, первинної переробки та зберігання врожаю [1–3].

5) Гуртовий і централізований спосіб зберігання та технічного обслуговування вищенаведених видів АТЗ і СТ сприяє можливості застосування ФТЧ деяких конструкцій, таких як ФТЧ ППМаш [1–3], із притаманними їм способами і засобами здійснення процесів регенерації I і II роду.

ВИСНОВКИ. Виявлено, що процеси, які складають сутність і супроводжують регенерацію ФТЧ є не менш важливими, різноманітними та складними, ніж власне процеси очищення потоку ВГ від ТЧ.

На основі проведеного аналізу даних, що містяться в спеціалізованих літературних джерелах щодо питань способів реалізації процесу регенерації ФТЧ різних типів і засобів їх реалізації, складено класифікація таких засобів.

Дослідження показало, що слід розрізняти процес регенерації I і II роду – відповідно процес очищення ФЕ від окислюваних і неокислюваних фракцій ТЧ. Для ФТЧ традиційної конструкції та нетрадиційної конструкції з подібним першим принципом роботи це розходження принципово огляду на відмінності в методах і засобах реалізації цих процесів. Для деяких типів ФТЧ нетрадиційної конструкції ці процеси ідентичні. Описано окремі випадки способів, пристроїв і систем регенерації, що перебувають у реальній експлуатації.

Процес регенерації ФТЧ традиційної конструкції зазвичай здійснюється термічним чи термокаталі-

тичним способом, що є пожежонебезпечним процесом в особливих умовах експлуатації АТЗ. Пасивна регенерація та штатна активна регенерація ФТЧ, що близький до повного заповнення, також становить пожежну небезпеку у будь-яких умовах експлуатації. Існує багато різноманітних експлуатаційних факторів, що призводять ФТЧ до такого стану та не піддаються точному моделюванню і прогнозуванню.

Розробка плазмових способів регенерації ФТЧ та використання централізованого здійснення цього процесу дозволяє значно знизити пожежонебезпечність експлуатації АТЗ і спеціальної техніки, що може бути обладнана ФТЧ і використовується Державною службою з надзвичайних ситуацій України, а у деяких випадках є необхідною умовою забезпечення екологічної безпеки у транспортній галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Регенерація фільтрів твердих частинок дизелів як аспект забезпечення 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(89), част. 1. – С. 158–165.
2. Регенерація фільтрів твердих частинок дизелів як аспект забезпечення екологічної безпеки експлуатації транспортних засобів. Частина 1 / О.М. Кондратенко, О.П. Строков, С.О. Вамболь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – Вип. 3/2015(92), част. 1. – С. 137–143.
3. Регенерація фільтрів твердих частинок дизелів / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.А. Вамболь, В.М. Семикин // Двигатели внутреннего сгорания. – № 1. – Харків: НТУ «ХПИ», 2014. – С. 89–95.
4. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
5. BOSCH. Автомобильный справочник: перевод с английского / Robert Bosch GmbH. – М.: ЗАО КЖИ "За рулем", 2002. – 896 с.
6. Офіційний сайт компанії Volkswagen [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.volkswagen.ua>.
7. Офіційний сайт компанії Isuzu [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://isuzu.com.ua>.
8. Офіційний сайт компанії LIQUI MOLY [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyu-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>.
9. Современные методы очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц / А.П. Строков, А.Н. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – № 2. – Харків: НТУ «ХПИ», 2010. – С. 99–104.
10. Аналіз діючих ФТЧ дизелів нетрадиційної конструкції на відповідність сучасним нормам екологічних показників / О.М. Кондратенко, С.О. Вамболь, О.П. Строков // Науковий журнал «Екологічна безпека». – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 1/2014(17). – С. 25–30.

REGENERATION PARTICULATE FILTER DIESEL ENGINES
AS ASPECT ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY OPERATION OF THE VEHICLES. PART 3

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

Purpose. Analysis of information from specialized scientific and technical literature, inventors certificates and patents on issues of an ecological safety and of an features of the process of regeneration of particulate matter filters of diesel internal combustion engines, as well as ways of organizing of that process, systems and devices, which implementing these methods, compiled classification of modern methods and means to implementation of the process of regeneration of diesel particulate matter filters. **Methodology.** Analysis of information from specialized scientific and technical literature and synthesis of its classification. **Results.** In this, the final part of the study shows the typical operation algorithms of regeneration onboard systems of the Ist kind on examples of vehicles which are in operation, as well as disclosed and illustrated the contents of classification items related to the features of the regeneration process of diesel particulate matter filters of the IInd kind. Such is the process of cleaning the filter element of the filter from a non-oxidizable fraction of particulate matter and the products of coking of oxidizable. Particulate matter is a dangerous law-normalized pollutant contained in the exhaust gases of internal combustion engines and consisting of carcinogenic and mutagenic hydrocarbons and soot cores. Regeneration is an integral part of the operation of transport and special vehicles. Identified factors and conditions, causing a technogenic and ecological and also fire hazards from these processes as an inseparable stage of the life cycle of diesel particulate filters, vehicles and special machines being in operation State Emergency Service of Ukraine. **Originality.** For the first time in our country created classification methods, ways and means for the regeneration of diesel particulate matter filters. **Practical value.** The obtained classification of methods, ways and means of regeneration process of diesel particulate matter filters suitable for finding new options for implementing that process. The classification introduced in the educational process of the National University of Civil Defense of Ukraine. References 5, no tables, figures 4.

Key words: ecology, safety, pollutants, filter, diesel, norms, toxicity, carcinogenic, regeneration.

REFERENCES

1. Kondratenko, O.M., Strokov, O.P., Vambol', S.O. (2014), "Regeneration of diesel particulate matter filters as an aspect of ecological safety of exploitation of vehicles. Part 1", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 6(89), part 1, pp. 158–165.
2. Kondratenko, O.M., Strokov, O.P., Vambol', S.O. (2015), "Regeneration particulate filters diesel engines as aspect ensure environmental safety operation of the vehicles. Part 2", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, no. 3(92), part 1, pp. 137–143.
3. Kondratenko, A.N., Strokov, A.P., Vambol', S.A., Semykin, V.M. (2014), "Regeneration of diesel particulate matter filters", *Internal Combustion Engines*, no. 1, pp. 89–95.
4. Grehov, L.V., Ivashhenko, N.A., Markov, V.A. (2004), "Fuel equipment and control systems of diesel engines", *Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej*, Legion-Avtodata, Moscow, Russia.
5. Robert Bosch GmbH. (2002), "BOSCH. Avtomobil'nyj spravocnik: perevod s anglijskogo" [BOSCH Car Handbook: translation from English], Publ. ZAO KZhl "Za rulem", Moscow, Russia.
6. *Oficial'nyj sajt kompanii VolksWagen* [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.volkswagen.ua>.
7. *Oficial'nyj sajt kompanii Isuzu* [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://isuzu.com.ua>.
8. *Oficial'nyj sajt kompanii LIQUI MOLY* [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://liquimoly.ua/Dizelnyy-sagevyy-filtr-ochistka-vmesto-remonta-i-odnovremennaya-ekonomiya>.
9. Strokov, A.P., Kondratenko, A.N. (2010), "Modern methods of purification of exhaust gases from diesel particulate matter", *Internal Combustion Engines*, no. 2, pp. 99–104.
10. Kondratenko, O.M., Vambol', S.O., Strokov, O.P. (2014), "Analysis of operating diesel DPFs with alternative constructions for compliance with modern standards of ecological characteristics", *Scientific Journal "Environmental Safety"*, no. 1(17), pp. 25–30.

Стаття надійшла 28.08.2015.