

А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.П. Хожайнов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО МАКЕТА ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ФИЛЬТРА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЯ С НАСЫПКОЙ ИЗ ПРИРОДНОГО ЦЕОЛИТА. ЧАСТЬ 2

В данной работе проведены экспериментальные исследования макетного действующего образца фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля на моторном испытательном стенде. В результате испытаний объекта исследования, который содержит в своей конструкции насыпку из природного цеолита, получена его расходная характеристика. Также получены зависимости степени очистки им отработавших газов дизеля от твердых частиц от нагрузочных и скоростных режимов работы дизеля 2Ч10,5/12, времени работы дизеля на режиме максимального крутящего момента и места его установки по длине выпускного тракта дизеля. Полученные данные хорошо согласуются с результатами исследований на безмоторной исследовательской установке. Разработанный фильтрующий элемент обладает приемлемым значением степени очистки отработавших газов дизеля от твердых частиц.

Анализ литературных источников

В первой части статьи [1] приведены постановка проблемы, анализ литературных источников, цель и постановка задачи исследований, результаты экспериментального исследования действующего макетного образца фильтрующего элемента (ФЭ) ФТЧ дизеля с сетчатыми кассетами и насыпкой из природного цеолита (ПЦ) в них – ДМЦ ФЭ. Анализ результатов исследования позволил выявить факторы, влияющие на эффективность очистки объектом исследования ОГ дизеля от ТЧ.

Экспериментальное исследование ДМЦ ФЭ, перенесенного по длине выпускного тракта МИС

Для выявления степени влияния указанных факторов необходима повторная модернизация МИС с дизелем 2Ч10,5/12 (Д21А1), заключающаяся в переносе места установки макетоудерживающей вставки вдоль выпускного тракта МИС (для снижения температуры ОГ, более полного прохождения процессов конденсации продуктов неполного сгорания дизельного топлива на ТЧ и коагуляции самих ТЧ), а также размещение макетоудерживающей вставки в строго вертикальном положении (для достижения брикетирования гранул ПЦ в сетчатых кассетах под собственным весом).

Место установки объекта исследования перенесено по длине выпускного тракта МИС на 5 м от выпускного коллектора дизеля 2Ч10,5/12 с помощью использования гибких армированных жаропрочных газопроводов. Схема системы отбора проб ОГ на токсичность после ее модернизации приняла вид, представленный на рис. 1. а ее внешний вид представлен на рис. 2.

Программа и методика экспериментального исследования параметров ДМЦ ФЭ аналогичны таковым для ДМ ФЭ и представлены в предыдущей части исследования. В ходе испытаний были получены расходная характеристика ДМЦ ФЭ (зависи-

мость гидравлического сопротивления объекта исследования от удельного массового расхода ОГ через модуль макета, при работе дизеля 2Ч10,5/12 на режимах внешней скоростной характеристики, нагрузочных характеристик с частотой вращения коленчатого вала дизеля при максимальном крутящем моменте и номинальной частоте вращения, характеристики холостого хода), а также зависимость перепада температур ОГ на объекте исследования для тех же режимов работы дизеля. Кроме этого получены графики зависимости коэффициента ослабления светового потока ОГ, измеренного дымомером ИНФРАКАР–Д, от нагрузочных и скоростных режимов работы дизеля, а также от времени работы дизеля на стационарном режиме.

Результаты исследования

Для ДМЦ ФЭ, перенесенного по длине выпускного тракта МИС на 5 м от выпускного коллектора дизеля, результаты исследования представлены на рис. 3 и 4. На них также представлены результаты определения гидравлических характеристик прозрачного макета модуля (ПММ) ФЭ, полученные на безмоторной исследовательской установке (БИУ), описанной в [2]. Состояние поверхностей ДМЦ ФЭ, сетчатых кассет и гранул ПЦ проиллюстрировано на рис. 5.

Обсуждение результатов исследования

На рисунке 3а вертикальными прямыми обозначены предельные уровни удельного массового расхода ОГ, характерные для выпускной системы МИС – 9,66 и 22,5 кг/(с·м²), соответственно. ДМЦ ФЭ, содержащий 20 модулей, имеет суммарное проходное сечение, составляющее 75 % от проходного сечения выпускного коллектора дизеля 2Ч10,5/12. Исследование показало, что на концентрацию несгоревших углеводородов C_{CH} в ОГ данный ФЭ не оказывает практически никакого влияния. То же верно и для концентраций CO и NOx.

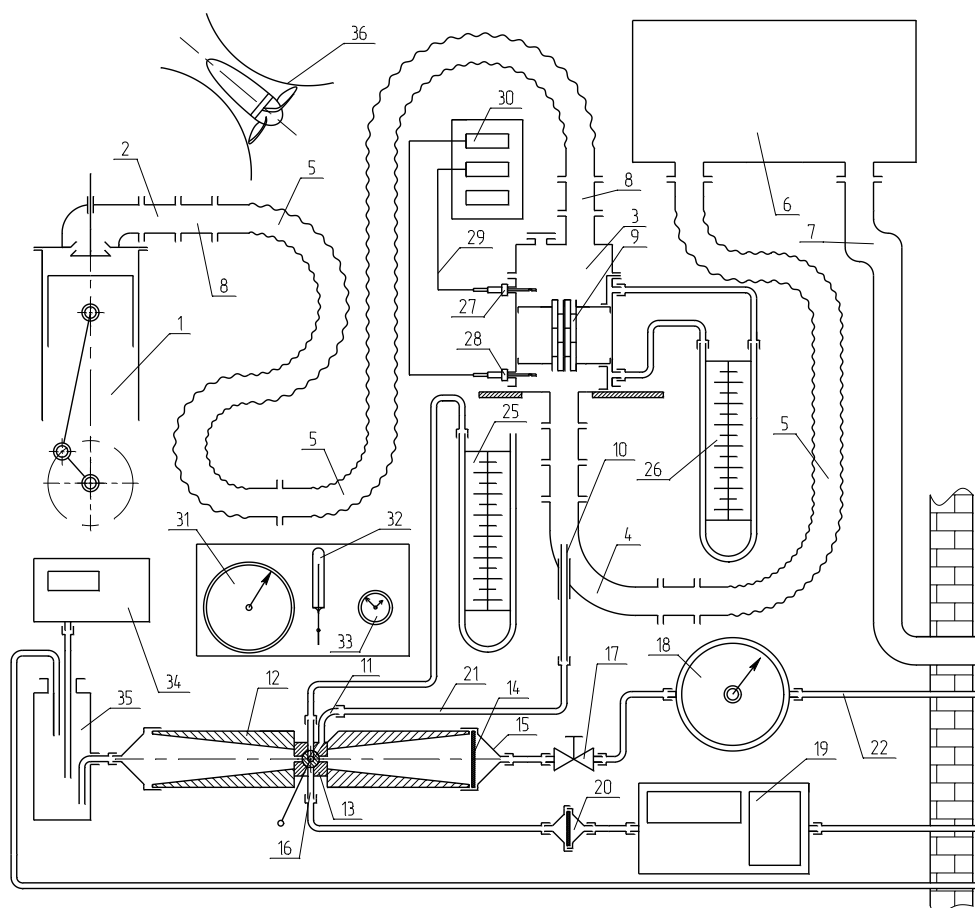


Рис. 1. Схема системы отбора проб ОГ на токсичность МИС:

1 – дизель 2Ч10,5/12; 2 – выпускной коллектор дизеля; 3 – макетодержащая вставка; 4 – угловой газопровод; 5 – гибкие газопроводы; 6 – глушитель шума выпуска ОГ; 7 – газывыводящая труба; 8 – переходники; 9 – макет ФТЧ; 10 – пробоотборный зонд; 11, 12, 13, 15, 16 – соответственно входной штуцер, конус, четырехходовой кран, колпак и выходной штуцер аллонжа; 14 – сменный фильтр; 17 – регулировочный кран; 18 – расходомер газа ГСБ-400; 19 – пятикомпонентный газоанализатор с печатающим устройством Автотест-02.03П; 20 – защитный фильтр с держателем; 21 – соединительный трубопровод; 22, 23, 24 – выводные трубопроводы; 25, 26 – дифманометры ДМ; 27, 28 – датчики термометрические ТХА; 29 – электропровод; 30 – прибор ОВЕН ТРМ 200; 31 – барометр-анероид БАММ-1М; 32 – термометр ртутный ТЛ-4; 33 – секундомер СОСпр-26-2; 34 – дымомер ИНФРАКАР-Д, 35 – измерительный ресивер (6,36 л); 36 – воздуходувка

Степень очистки ОГ дизеля от ТЧ фильтром (коэффициент эффективности очистки) определяется формулой (1)

$$K_{\text{ЭО}} = \frac{D_{\text{ДВС}} - D_{\text{ФТЧ}}}{D_{\text{ДВС}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $D_{\text{ДВС}}$ – показатель, характеризующий дымность ОГ дизеля на каком-либо режиме работы (в данном случае – коэффициент ослабления светового потока N , %);

$D_{\text{ФТЧ}}$ – показатель, характеризующий дымность ОГ дизеля на том же режиме работы с установленным в его выпускной системе ФТЧ.

Представленные на рис. 3 и 4 графики показывают, что разработанный ФЭ снижает содержание ТЧ в ОГ дизеля 2Ч10,5/12 с эффективностью, кото-

рая зависит от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля, а также от времени наработки дизеля на конкретном стационарном режиме работы. Они описаны с помощью метода линейной регрессии [3] и имеют вид полиномов 1 – 3 степени. Для гидравлического сопротивления и степени очистки ОГ от ТЧ фильтром, определенной по формуле 1, они имеют следующий вид:

$$\Delta P(g_{m_{\text{ОГ}}}) = 0,108 \cdot g_{m_{\text{ОГ}}}^3 + 1,48 \cdot g_{m_{\text{ОГ}}}^2 + 30,9 \cdot g_{m_{\text{ОГ}}}, \text{ Па};$$

$$\Delta P(\tau)_{M_{\text{крmax}}} = 29,7 \cdot \tau + 1361, \text{ Па};$$

$$K_{\text{ЭО}}(M_{\text{кр}})_{\text{max}} = 0,328 \cdot M_{\text{кр}} + 19,5, \text{ \%};$$



Рис. 2. Внешний вид МИС после модернизации его системы отбора проб ОГ на токсичность

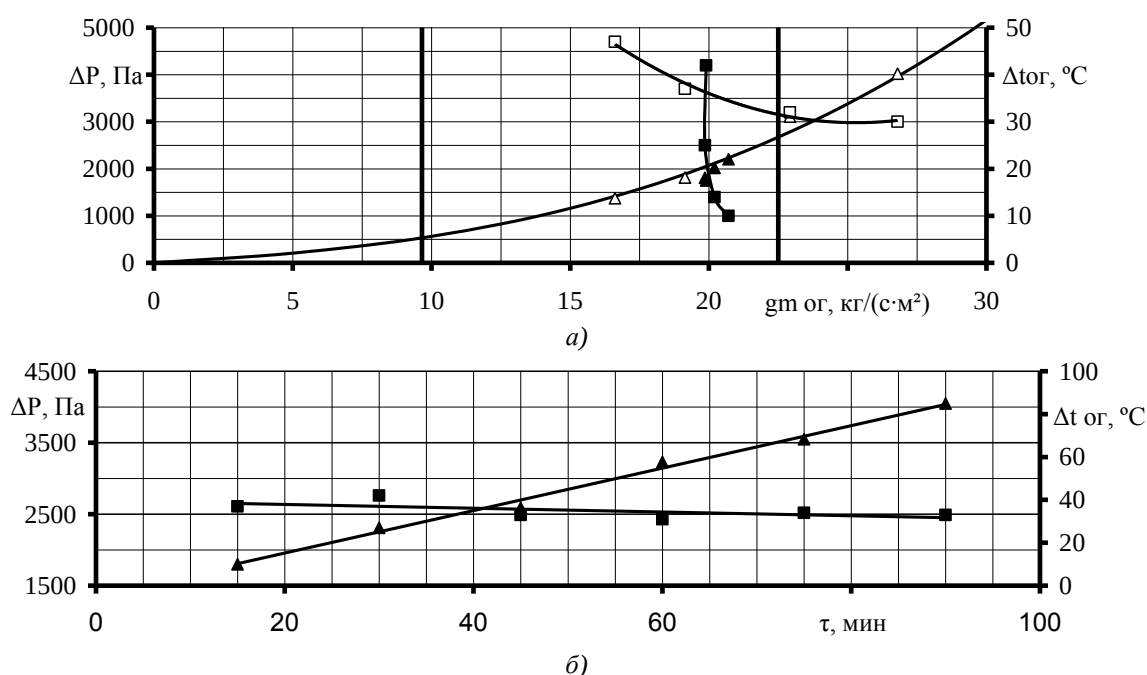


Рис. 3. Графики зависимости гидравлического сопротивления ДМЦ ФЭ и перепада температур ОГ на нем от удельного массового расхода ОГ через него (а), и от времени работы дизеля 2Ч10,5/12 на режиме максимального крутящего момента (б):

внешняя скоростная характеристика: Δ – ΔP ; $\square$ – Δt .
нагрузочная характеристика при $n_{кв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$: $\blacktriangle$ – ΔP ; $\blacksquare$ – Δt

$$K_{ЭО}(M_{кр})_{ном} = 0,248 \cdot M_{кр} + 11,5, \text{ \%};$$

$$K_{ЭО}(\tau) = -3,25 \cdot 10^{-3} \cdot \tau^2 + 0,544 \cdot \tau + 41,5, \text{ \%}.$$

$$K_{ЭО}(n_{кв})_{вн.с.к} = 5,4 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 - 2,92 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 + 0,46 \cdot n_{кв} - 170,3, \text{ \%};$$

$$K_{ЭО}(n_{кв})_{х.х} = 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 - 7,73 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв}^2 + 0,136 \cdot n_{кв} - 73,8, \text{ \%};$$

На рис. 5 видно, что ТЧ откладываются на всех поверхностях модулей ДМЦ ФЭ – как на поверхностях стенок, образованных стальными листами, так и на поверхностях кассет из стальной тканой сетки. При этом в тех местах, где кассеты из стальной тканой сетки проницаемы для потока ОГ,

осаждение ТЧ происходило более интенсивно со стороны входа потока. Адсорбция ТЧ на поверхностях гранул ПЦ, как видно на рис. 5, происходит с интенсивностью, которая отрицательно коррелирует с длиной пути потока ОГ в насыпке. Также ТЧ в насыпке более интенсивно адсорбируются на гранулах ПЦ, находящихся в непосредственной близости от поверхности сетчатой кассеты. Максимальная интенсивность адсорбции ТЧ на гранулах происходит в зоне насыпки, где поток ОГ преодолевает кассету самым коротким путем, то есть в середине кассеты. Причем в этой зоне насыпки содержится также большое количество конгломератов ТЧ, адсорбированных уже не на гранулах ПЦ, а на

самых ТЧ, в том числе и коагулированные между собой. Размеры конгломератов в этом случае соразмерны промежуткам между гранулами ПЦ насыпки с учетом слоя адсорбированных на их поверхностях ТЧ. Таким образом, насыпка из ПЦ также реализует такой способ очистки ОГ от ТЧ (помимо адсорбции), как фильтрация. На рис. 5 также видно, что часть насыпки (порядка 40 %), находящаяся в конце траектории движения потока ОГ в ней, за 90 минут работы ДМЦ ФЭ на МИС слоем адсорбированных ТЧ покрыться не успела, однако отфильтрованные насыпкой конгломераты ТЧ содержит.

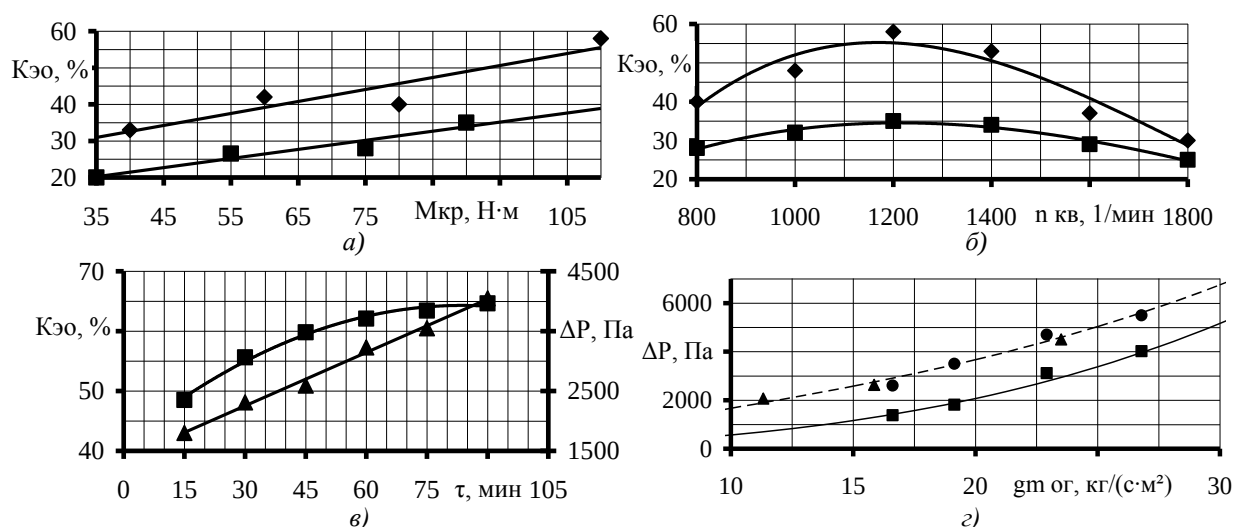


Рис. 4. Графики зависимости K_{zo} ДМЦ ФЭ ОГ дизеля 2Ч10,5/12 от ТЧ от нагрузочных (а) и скоростных (б) режимов его работы, а также времени работы на режиме максимального крутящего момента (в) и графики зависимости гидравлического сопротивления ДМЦ ФЭ от удельного массового расхода ОГ через него для разных мест установки его на МИС (г) и времени работы на режиме максимального крутящего момента (в): "а": $\blacklozenge$ – нагрузочная характеристика при $n_{kv} = 1200 \text{ мин}^{-1}$; $\blacksquare$ – нагрузочная характеристика при $n_{kv} = 1800 \text{ мин}^{-1}$; "б": $\blacklozenge$ – внешняя скоростная характеристика; $\blacksquare$ – характеристика холостого хода; "в": $\blacksquare$ – K_{zo} ; $\blacktriangle$ – ΔP ; "г": $\blacksquare$ – дынные, полученные на МИС для ДМЦ ФЭ, перенесенного по длине выпускного тракта МИС на 5 м; $\blacktriangle$ – данные, полученные на БИУ для ПММ ФЭ; $\bullet$ – данные, полученные для ДМЦ ФЭ, установленного непосредственно за выпускным коллектором дизеля 2Ч10,5/12



Рис. 5. ДМЦ ФЭ, сетчатая кассета и насыпной цеолит после моторных испытаний

Таким образом, картины распределения ТЧ в ДМЦ ФЭ, представленные в виде фотографий на рис. 6, наглядно демонстрируют использование разработанных ФЭ одновременно таких способов очистки ОГ дизеля от ТЧ, как: фильтрация ТЧ стальной тканой сеткой и насыпкой из ПЦ при прохождении потока ОГ через них; осаждение ТЧ на поверхностях стальных листов с большой шероховатостью и стальной тканой сетки при омывании этих поверхностей потоком ОГ; адсорбция ТЧ на поверхностях насыпки из ПЦ при прохождении сквозь нее потока ОГ.

Максимальное значение степени очистки ОГ дизеля от ТЧ ДМЦ ФЭ (58 %), полученное на режиме максимального крутящего момента дизеля 2Ч10,5/12, существенно отличается от значения, полученного экспериментально для ДМ ФЭ с пустыми сетчатыми кассетами (20 %) на том же режиме работы дизеля, что свидетельствует об эффективности применения насыпок из ПЦ в конструкции ФТЧ. Место установки ДМЦ ФЭ по длине выпускного тракта МИС, как видно на рис. 5, оказывает существенное влияние на гидравлическое сопротивление объекта исследования, однако при этом также существенно повышая степень очистки ОГ дизеля от ТЧ – от 30 % до 58 % на режиме максимального крутящего момента дизеля 2Ч10,5/12, что свидетельствует о том, что выдвинутые в первой части исследования гипотезы подтвердились.

Перспективы дальнейших исследований состоят в поиске способов брикетирования сыпучих термостойких сорбентов, а также в поиске и исследовании сыпучих сорбентов, альтернативных природному цеолиту (например, терморасширенного графита [5]).

Выводы

В данной части исследования было выполнено экспериментальное исследование рабочих характеристик макетного действующего образца ФЭ разработанного ФТЧ, содержащего в своей конструкции насыпку сетчатых кассет ПЦ.

В результате исследования получены расходная характеристика макетного действующего образца ФЭ и зависимость перепада температур ОГ на образце от удельного массового расхода ОГ через объект исследования для режимов работы дизеля 2Ч10,5/12 внешней скоростной характеристики, на-

грузочных характеристик с частотой вращения коленчатого вала дизеля 2Ч10,5/12 при максимальном крутящем моменте и номинальной частотой вращения, характеристики холостого хода, а также от времени работы дизеля на стационарном режиме.

Также в результате исследования получены зависимости степени очистки ОГ дизеля от ТЧ образцом от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля 2Ч10,5/12, времени его работы на стационарном режиме максимального крутящего момента.

Степень очистки ОГ дизеля от ТЧ макетным образцом достигает максимального значения на режиме максимального крутящего момента дизеля 2Ч10,5/12, равного 58 %, что на 38 % больше, чем для макетного действующего образца без насыпки из ПЦ в сетчатых кассетах. Такой уровень степени очистки фильтра является приемлемым.

Список литературы:

1. Кондратенко А.Н. Экспериментальное исследование действующего макета фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита. Часть 1 / А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, Н.М. Карасиченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №1. – С. 88-92. 2. Кондратенко О.М. Моделирование тепло- та масообмінних процесів у фільтрі твердих частинок дизеля. Частина 4: розрахункове дослідження робочих характеристик фільтра / О.М. Кондратенко, О.П. Строков // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – 2013. – № 5 (979). – С. 100–109. 3. Эберт К. Компьютеры. Применение в химии: Пер. с нем. / К. Эберт, Х. Эдерер – М.: Мир. – 1988. – 416 с. 4. Кожан А.П. Нефтепоглощающий сорбент на основе терморасширенного графита. Исследование термохимической регенерации / А.П. Кожан, В.М. Дмитриев, О.Б. Бондаренко, О.А. Сергиенко, В.С. Рябчук, // Хімічна промисловість України. – 2007. – № 6. – С. 23–28.

Bibliography (transliterated):

1. Kondratenko A.N. Jeksperymental'noe issledovanie dejstvujushhego maketa fil'trujushhego jelementa fil'tra tverdyh chastic dizelja s nasypkoj iz prirodnogo ceolita. Chast' 1 / A.N. Kondratenko, A.P. Strokov, N.M. Karasichenko // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2013. – №1. – С. 88-92. 2. Kondratenko O.M. Mode-ljuvannja teplo- ta masoobminnih procesiv u fil'tri tverdyh chastinok dizelja. Chastina 4: rozrahunkove doslidzhennja robochih harakteristik fil'tra / O.M. Kondratenko, O.P. Strokov // Visnik Nacional'nogo tehnikogo universitetu "HPI". – 2013. – № 5 (979). – С. 100–109. 3. Jebert K. Komp'jutery. Primenenie v himii: Per. s nem. / K. Jebert, H. Jederer – M.: Mir. – 1988. – 416 s. 4. Kozhan A.P. Neftepgloshhajushhij sorbent na osnove termorasshirennogo grafita. Issledovanie termohimicheskoj regeneracii / A.P. Kozhan, V.M. Dmitriev, O.B. Bondarenko, O.A. Sergienko, V.S. Rjabchuk, // Himichna promislovist' Ukraini. – 2007. – № 6. – С. 23–28.

Поступила в редакцию 15.05.2013

Кондратенко Александр Николаевич – ведущий инж. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua.

Строков Александр Петрович – доктор техн. наук, проф., зав. отделом поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua.

Хожайнов Сергей Петрович – ведущий инж. отдела поршневых энергоустановок Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина, e-mail: dppp@ipmach.kharkov.ua.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЮЧОГО МАКЕТУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТУ ФІЛЬТРУ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ДИЗЕЛЯ ІЗ НАСИПКОЮ З ПРИРОДНОГО ЦЕОЛІТУ. ЧАСТИНА 2

О. М. Кондратенко, О. П. Строков, С. П. Хожайнов

У даній роботі проведені експериментальні дослідження макетного діючого зразка фільтруючого елемента фільтра твердих часток дизеля на моторному випробувальному стенді. У результаті випробувань об'єкта дослідження, який містить у своїй конструкції насипку з природного цеоліту, отримана його витратна характеристика. Також отримано залежності ступеня очищення ім відпрацьованих газів дизеля від твердих частинок від навантажувальних і швидкісних режимів роботи дизеля 2410,5/12, часу роботи дизеля на режимі максимального крутного моменту і місця його установки вздовж випускного тракту дизеля. Отримані дані добре узгоджуються з результатами досліджень на безмоторній дослідницькій установці. Розроблений фільтруючий елемент характеризується прийнятним значенням ступеня очищення відпрацьованих газів дизеля від твердих частинок.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE WORKING LAYOUT OF FILTER ELEMENT OF DIESEL PARTICLE FILTER WITH BULK NATURAL ZEOLITE. PART 2

A. N. Kondratenko, A. P. Stokov, S. P. Khozhainov

Present paper describes the experimental studies of the breadboard operating sample of the filter element of diesel particulate filter on the engine test bench. As a result of testing the research object, which contains in its structure bulk natural zeolite, its flow characteristic were obtained. Also, the dependence on the degree of exhaust gases purification from diesel's particulate matter from the load and speed modes of the diesel 2410,5/12 was obtained, and also the time of the diesel engine running at peak torque load and the temperature of its exhaust gases. The data obtained are in good agreement with the results of studies on engineless research facility. Designed filter element has an acceptable value of the degree of purification of exhaust gases from diesel particulates.

УДК 621.43.068.4:665.777.2

И.В. Парсаданов, И.П. Васильев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

Рассмотрены особенности определения состава и свойств твердых частиц отработавших газов дизелей. Приведены результаты определения твердых частиц на содержание тяжелых металлов и углеродной фракции. Углеродная фракция определялась фотометрическим методом с использованием специальных фильтров, предварительно растворенных в дихлорэтане. Содержание металлов определялось ртутной полярографией. Выявлено, что с увеличением нагрузки концентрации металлов в твердых частицах отработавших газов дизелей повышаются.

Введение

Совершенствование рабочих процессов дизелей и систем нейтрализации отработавших газов (ОГ) приводит с одной стороны к уменьшению выбросов вредных веществ (ВВ), а с другой стороны – к изменению состава ВВ, в частности, твердых частиц (ТЧ), которые представляют собой комплекс веществ органической и неорганической природы [1].

В ОГ современных дизелей наблюдается относительный рост в ТЧ золы (минеральной фракции), включающей в себя продукты износа двигателя и систем нейтрализации, ингредиенты приса-

док к топливу и к моторному маслу, а также частицы пыли, поступающие в цилиндр с воздухом.

Исследования ТЧ с использованием нейтронной томографии выявили, что в составе минеральной фракции содержится около 37% Ca, 19% Zn, 15% S, 8% P и 2% Cu [2].

Некоторые ингредиенты относятся к тяжелым металлам, которые имеют плотность выше, чем Fe и включают Cu, Ni, Co, Pb, Sn, Zn, Cd, Bi, Sb, Hg и их содержание в воздухе рабочей зоны нормируется [3, 4].

Использование альтернативных топлив, в частности, биодизельного топлива, снижая дымность ОГ, приводит к уменьшению дисперсности

углеродных частиц [5]. Из-за малых размеров такие частицы могут преодолевать естественные преграды организма и попадать в мозг и в плаценту человека [6]. При этом отмечается, что металлические частицы оказывают большее вредное воздействие, чем частицы углерода, так как их поверхности имеют более высокую реакционную способность.

В свете этого представляет научный интерес и является актуальной задача определения различными методами состава и свойств твердых частиц в отработавших газах современных дизелей.

Цель исследований – определение состава ТЧ, в частности, содержание минеральной фракции (металлов) и углеродной фракции на различных режимах работы двигателя.

Объектом исследований был выбран дизель 4ЧН 12/14 жидкостного охлаждения с непосредственным впрыскиванием топлива, газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха.

Методики исследований

Методика отбора ТЧ на фильтры в туннеле представлена в работах [7, 8].

Учитывая, что способы определения металлов и углеродной фракции являются разрушаемыми, то фильтр делился на равные две части, которые затем взвешивались на лабораторных электронных весах серии AN100 фирмы «AXIS» (Польша) с точностью 0,1 мг, а расход ОГ через эти части фильтра принимался равный пропорционально их массе. При этом использовались фильтры марок АФА–ВП–20 и АФА–ХП–20, материал которых имеет свойство растворяться в дихлорэтано.

Для определения металлов в ТЧ вторая часть фильтра сжигалась, и полученная зола обрабатывалась концентрированной HCl и на фоне 0,1 молярного раствора роданида аммония готовился раствор, который анализировался полярографическим методом, основанном на расшифровке вольтамперных кривых, которые получают при электролизе исследуемого раствора в специальной электрополярографической ячейке [9].

В этой ячейке в качестве одного электрода, называемого рабочим, используют ртуть, вытекающую из тонкого капилляра – катода с периодом капания 2...7 с и диаметром примерно 1 мм. Второй электрод – анод, является электродом сравнения. Он представляет собой слой ртути с большой по-

верхностью на дне сосуда. Для количественного определения вещества используется прямо пропорциональная зависимость между силой предельного тока, выраженной высотой полярографической волны, и концентрацией вещества в растворе.

Минимальная определяемая концентрация металлов – 0,1 мкг в пробе, что соответствует примерно 0,01 мкг в одном литре ОГ.

Для определения углеродной фракции в ТЧ использовалась методика, применяемая для определения углеродной фракции в атмосферном воздухе [10], поэтому производились необходимые разбавления отработавших газов.

При обработке фильтров дихлорэтаном материал фильтра (перхлорвинил) и органические вещества растворялись в дихлорэтано. Основная высокодисперсная углеродная фракция переходила во взвешенное суспендированное состояние, а минеральная часть оседала на дно. Содержание углеродной фракции в суспензии определялась фотометрическим методом.

Результаты исследований

Вначале проводилась отладка методики анализа состава ТЧ, а затем исследования согласно нижеприведенной программе в табл. 1.

Таблица 1. Программа испытаний дизеля

№ фильтра	Частота вращения коленчатого вала, н, мин ⁻¹	Нагрузка, Р, %
1	1250	50
2	1500	25
3	1500	50
4	1500	75
5	1750	50
6	1500	50
7	1500	75
8	1500	50
9	1500	25
10	1500	50
11	1750	50
12	1500	75
13	1250	50
14	1750	50
15	1500	75

Результаты отладки методики определения металлов в ТЧ приведены в табл. 2.

В ОГ присутствуют Cu, Zn, Mn. Также обнаружены следы Fe, Pb, Cd, Ni.

Таблица 2. Содержание металлов в ТЧ

№ фильтра	P, %	n, мин ⁻¹	Масса ТЧ, мг	Объем измеряемых ОГ (V _{ОГ} ^{нр}), л	Металл	Масса металла, мг	Масса металла в единице объема ОГ, мг/л
18	25	1000	0,4	134,5			0,003
		1000	0,4	134,5	Cu	0,00428	0,000032
		1000	0,4	134,5	Zn	0,00131	0,00001
		1000	0,4	134,5	Mn	0,00452	0,000034
5	75	1500	0,75	81,4			0,0092
		1500	0,75	81,4	Cu	0,0028	0,000034
		1500	0,75	81,4	Zn	0,00101	0,000012
		1500	0,75	81,4	Mn	0,00511	0,000063
17	100	2000	1,18	81,8			0,0144
		2000	1,18	81,8	Cu	0,00585	0,000072
		2000	1,18	81,8	Zn	0,00152	0,000019
		2000	1,18	81,8	Mn	0,0057	0,000070

Примеры изменения содержания металлов в ТЧ ОГ дизеля по скоростной характеристике согласно табл. 2 приведены на рис. 1, 2, 3.

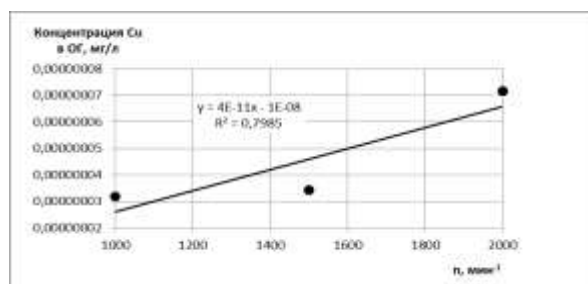


Рис. 1. Изменение концентрации Cu в ОГ по скоростной характеристике

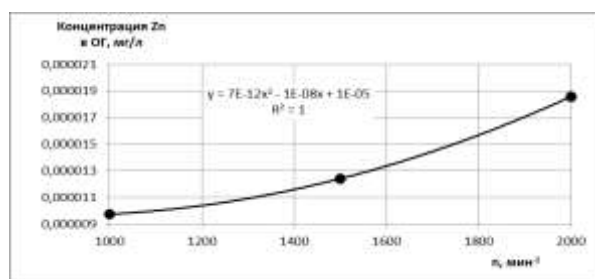


Рис. 2. Изменение концентрации Zn в ОГ по скоростной характеристике

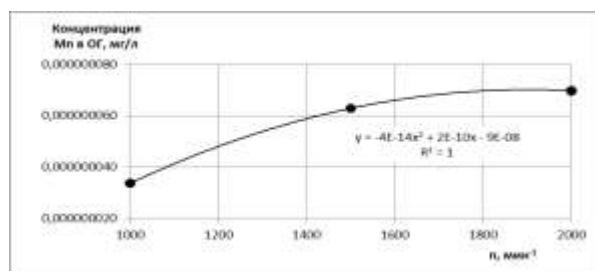


Рис. 3. Изменение концентрации Mn в ОГ по скоростной характеристике

Для Cu, Zn, Mn характерно повышение концентраций при увеличении частоты вращения коленчатого вала. Содержание металлов в ТЧ составляет 1,1...2,5 масс. %, что коррелируется с данными из работы [1].

В дальнейшем на основании этих предварительных результатов оценивалось содержание в ТЧ следующих металлов: Pb, Cu, Ni, Zn согласно программе испытаний, приведенной в табл. 1. Типичные диаграммы состава металлов представлены на рис. 4,5,6.

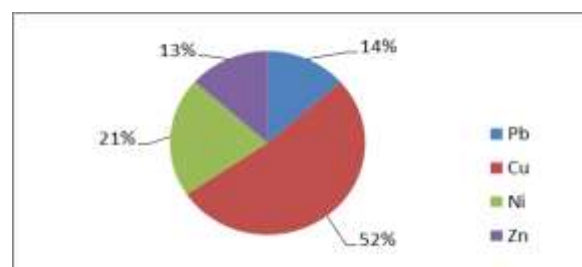


Рис. 4. Концентрации металлов в ТЧ на режиме №1 при Ne=50%, n= 1250 мин⁻¹

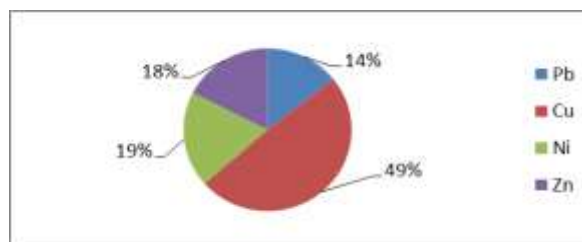


Рис. 5. Концентрации металлов в ТЧ на режиме №5 при Ne=75%, n= 1750 мин⁻¹

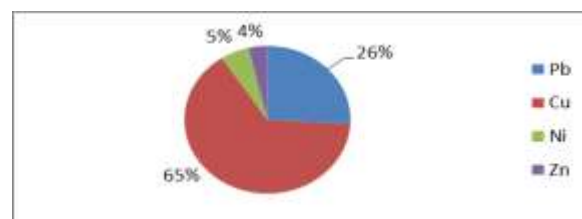


Рис. 6. Концентрации металлов в ТЧ на режиме №12 при Ne=75%, n= 1500 мин⁻¹

Основное содержание металлов в ТЧ приходится на Cu 45...67 масс. %. На Zn приходится 9...33 масс. %, на Pb – 8...32 масс. %, на Ni – 5...29 масс. % в основном нижняя граница.

По нагрузочной характеристике фиксировано увеличение содержания металлов с повышением нагрузки (рис. 7, 8, 9).

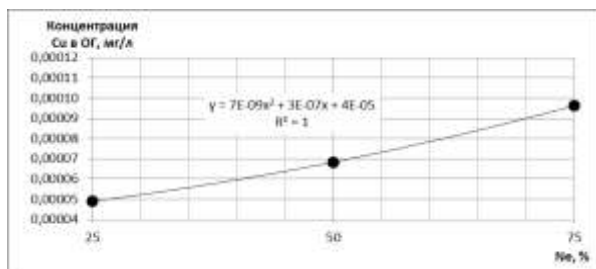


Рис. 7. Изменение концентрации Cu в ОГ по нагрузочной характеристике

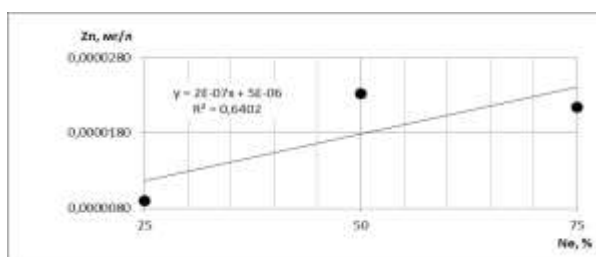


Рис. 8. Изменение концентрации Zn в ОГ по нагрузочной характеристике

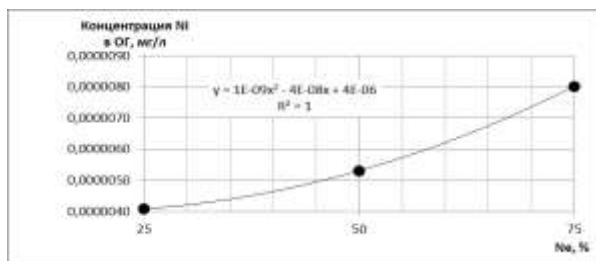


Рис. 9. Изменение концентрации Ni в ОГ по нагрузочной характеристике

Представляло интерес одновременно выявить эти изменения для металлов и углеродной фракции, как ранее указывалось, путем разделения фильтра на две части и проведение анализов отдельных частей фильтров. Выявлено, что отношение суммарной массы металлов к массе углеродной фракции находится в диапазоне от 1 до 6,7 %. В работе [1] среднее отношение массы металлов к средней массе углеродной фракции составило около 2,7 %.

В работе [11] представлена альтернативная стратегия регенерации ТЧ на фильтрах. Предложено получать углеродную фракцию с характеристиками, близкими к аморфной саже, которая имеет более низкую температуру воспламенения в филь-

трах ТЧ. Этого возможно добиться путем подбора соответствующих режимов работы двигателя.

По аналогии, можно, предложить режимы работы двигателей с минимальными выбросами тяжелых металлов в ТЧ, к которым относятся средние нагрузки.

Заключение

При анализе отработавших газов необходимо уделять внимание не только массовым выбросам твердых частиц, но и их составу.

В состав твердых частиц входят тяжелые металлы, которые, в основном, являются продуктами износа деталей двигателя и ингредиентами присадок к топливу и моторным маслам.

В результате исследований выявлено, что рост выбросов тяжелых металлов, таких как Cu и Zn, связан с повышением нагрузки.

Список литературы:

1. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова. – М.: Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.
2. Grünzweig Ch. Visualisierung der Russ- und Ascheverteilung mittels Neutronen-Imaging / Ch. Grünzweig, D. Mannes, A. Kaestner, M. Vogt // *Motor-technische Zeitschrift*. – 2012 (73). – Nr. 4. – S. 326–331.
3. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Изд. 2-е, пер. и доп. – Л.: Химия, 1975. – 456 с.
4. Олейник Н.В. Влияние содержания тяжелых металлов в топливах растительного происхождения на вредные выбросы с отработавшими газами дизелей / Н.В. Олейник, Л.Г. Зубова, И.П. Васильев // *Вісн. Східно-укр. нац. ун-ту імені Володимира Даля*. – Луганск, 2007. – Ч. 1. – № 8 (114). – С. 161 – 165.
5. Kralh J. Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines / J. Kralh, A. Munack, O. Schröder, H. Stein, A. Hassaneen // *Landbauforschung Völk-enrode*. – 2005 (55). – Nr. 2. – S. 99–106.
6. Mayer A.C.R. Qualitätsstandards und Prüfverfahren für Partikelfilter / A.C.R. Mayer, Jan Czerwinski, M. Kasper, G. Leutert, N. Heeb, A. Ulrich, F. Jaussi // *Motor-technische Zeitschrift*. – 2009 (70). – Nr. 11. – S. 72–79.
7. Звонов В.А. Оценка выброса твердых частиц с отработавшими газами автотракторного дизеля / В.А. Звонов, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.П. Поливянчук И.В. // *Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ»*. – Х., 2006. – № 2. – С. 64–67.
8. Полівянчук А.П. Дослідження викидів твердих частинок з відпрацьованими газами на стаціонарних та нестационарних режимах роботи автотракторного дизеля / А.П. Полівянчук, С.В. Зубов, С.А. Львов // *Матеріали XVI міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»*, НТУ «ХПИ». – Харків, 2008. – Ч. I. – С. 177.
9. Пац Р.Г. Полярнография / Р.Г. Пац // *БСЭ* / М.: Советская энциклопедия, 1975. – Т. 20. – С. 340–341.
10. Соловьева Т.В. Руководство по методам определения вредных веществ в атмосферном воздухе / Т.В. Соловьева, В.А. Хрусталева. – М.: Медицина, 1974. – 300 с.
11. Fiebig M. Einflüsse motorischer Betriebsparameter auf die Reaktivität von Dieselsruss / M. Fiebig, M. Schönen, U. Grütering, S.

Pischinger // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2010 (71). – Nr 07–08. – S. 524 – 531.

Bibliography (transliterated):

1. Zvonov V.A. Ocenka i kontrol' vybrosov dispersnyh chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S. Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simonova. – M.: Prima-Press-M, 2005. – 312 s. 2. Grünzweig Ch. Visualisierung der Russ- und Ascheverteilung mittels Neutronen-Imaging / Ch. Grünzweig, D. Mannes, A. Kaestner, M. Vogt // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2012 (73). – Nr. 4. – S. 326–331. 3. Pre-del'no dopustimye koncentracii vrednyh veshchestv v vozduhe i vode. Izd. 2-e, per. i dop. – L.: Himija, 1975. – 456 s. 4. Olejnik N.V. Vlijanie soderzhaniya tjazhelyh metallov v toplivah rastitel'nogo proishozhdenija na vrednye vybrosy s otrabotavshimi gazami dizelej / N.V. Olejnik, L.G. Zubova, I.P. Vasil'ev // *Visn. Shidnokr. nac. un-tu imeni Volodimira Dalja*. – Lugansk, 2007. – Ch. 1.– № 8 (114). – S. 161 – 165. 5. Krahel J. Fuel economy and environmental characteristics of biodiesel and low sulfur fuels in diesel engines / J. Krahel, A. Munack, O. Schröder, H. Stein, A. Hasaneen // *Landbauforschung Völkensode*. – 2005 (55). – Nr 2. – S. 99–106. 6. Mayer A.C.R. Qualitätsstandards und Prüfverfahren für

Partikelfilter / A.C.R. Mayer, Jan Czerwinski, M. Kasper, G. Leutert, N. Heeb, A. Ulrich, F. Jaussi // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2009 (70). – Nr. 11. – S. 72–79. 7. Zvonov V.A. Ocenka vybrosa tverdyh chastic s otrabotavshimi gazami avtotraktorного дизеля / V.A. Zvonov, A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, A.P. Polivjanchuk I.V. // *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: sb. st. NTU «HPI»*. – H., 2006. – № 2. – S. 64–67. 8. Polivjanchuk A.P. Doslidzhennja vikidiv tverdyh chastic z vidprac'ovanymi gazami na stacionarnih ta nestacionarnih rezhimah roboti avtotraktorного дизеля / A.P. Polivjanchuk, S.V. Zubov, S.A. L'vov // *Materia-li XVI mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Informacijni tehnologiji: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja»*, NTU «HPI». – Harkiv, 2008. – Ch 1. – S. 177. 9. Pac R.G. Poljaro-grafija / R.G. Pac // *BSJe / M.: Sovetskaja jenciklopedija*, 1975. – T. 20. – S. 340–341. 10. Solov'eva T.V. Rukovodstvo po metodam opredelenija vrednyh veshchestv v atmosfernom vozduhe / T.V. Solov'eva, V.A. Hrustaleva. – M.: Medicina, 1974. – 300 s. 11. Fiebig M. Einflüsse motorischer Betriebsparameter auf die Reaktivität von Dieselmotoren / M. Fiebig, M. Schönen, U. Grütering, S. Pischinger // *Motortechnische Zeitschrift*. – 2010 (71). – Nr 07–08. – S. 524 – 531.

Поступила в редакцию 07.05.2013

Парсаданов Игорь Владимирович – доктор техн. наук, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua

Васильев Игорь Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры двигателя внутреннего сгорания Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: vasilievkr@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ СОСТАВА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛІВ

I.V. Parsadanov, I.P. Vasylyev

Розглянуто особливості визначення складу і властивостей твердих частинок відпрацьованих газів дизелів. Наведено результати аналізів твердих частинок на вміст важких металів і вуглецевої фракції. Вуглецева фракція визначалася фотометричним методом з використанням спеціальних фільтрів, попередньо розчинених у діхлоретане. Вміст металів визначалася ртутної полярографією. Виявлено, що зі збільшенням навантаження концентрації металів у твердих частках відпрацьованих газів дизелів підвищуються.

DEFINITION OF COMPOSITION OF PM OF DIESEL'S EXHAUST GASES

I.V. Parsadanov, I.P. Vasylyev

Features of determination of the composition and properties of particulate matters in the exhaust gases of diesel engines are considered. The results of the analysis of particulate matters on the content of heavy metals and carbon fraction are presented. The carbon fraction was determined by the photometric method with the use of special filters, previously pre-dissolved in dichloromethane. The metal content was determined using the method of mercury polarography. It was revealed that if engine load has increased the concentration of metals in particulate matter of diesel's exhaust gases has also increased.

УДК 621.43.068

А.П. Поливянчук, С.А. Львов

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ САЖЕВОГО ФИЛЬТРА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СЧЕТНОЙ, ПОВЕРХНОСТНОЙ И МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

Предложена методика комплексной оценки эффективности работы сажевого фильтра дизеля по трем критериям: счетной, поверхностной и массовой концентрациям твердых частиц с учетом их дисперсного состава. Приведены результаты оценки эффективности сажевого фильтра дизеля грузового автомобиля с использованием предложенной методики.

Введение

Сажевые фильтры являются наиболее распространенным средством нейтрализации дизельных твердых частиц (ТЧ) – второго по значимости (после оксидов азота NO_x) загрязняющего вещества в

выхлопе дизеля [1]. Для оценки эффективности работы фильтра традиционно используют критерий относительного снижения массовой концентрации – C_m (или выброса) ТЧ в результате процесса фильтрации. Данный подход к оцениванию эффектив-

ности сажевых фильтров не является совершенным, так как он не учитывает изменений счетной – C_n (количество ТЧ в единице объема) и поверхностной – C_s (суммарная площадь поверхности ТЧ в единице объема) концентраций ТЧ. При этом величины C_n и C_s являются важными токсикологическими показателями, характеризующими степень негативного влияния дизельных частиц на организм человека и окружающую среду. Как показывает ряд исследований [2-4], сажевые фильтры с высокой эффективностью, определенной по критерию C_m , пропускают значительное количество мелкодисперсных частиц, в том числе наиболее опасных – наночастиц (с диаметром менее 50 нм [5,6]), обладающих высокой проникающей способностью в систему дыхания человека. В статье предлагается комплексный подход к оцениванию эффективности сажевых фильтров с использованием 3-х критериев – величин C_m , C_n и C_s .

Постановка задачи

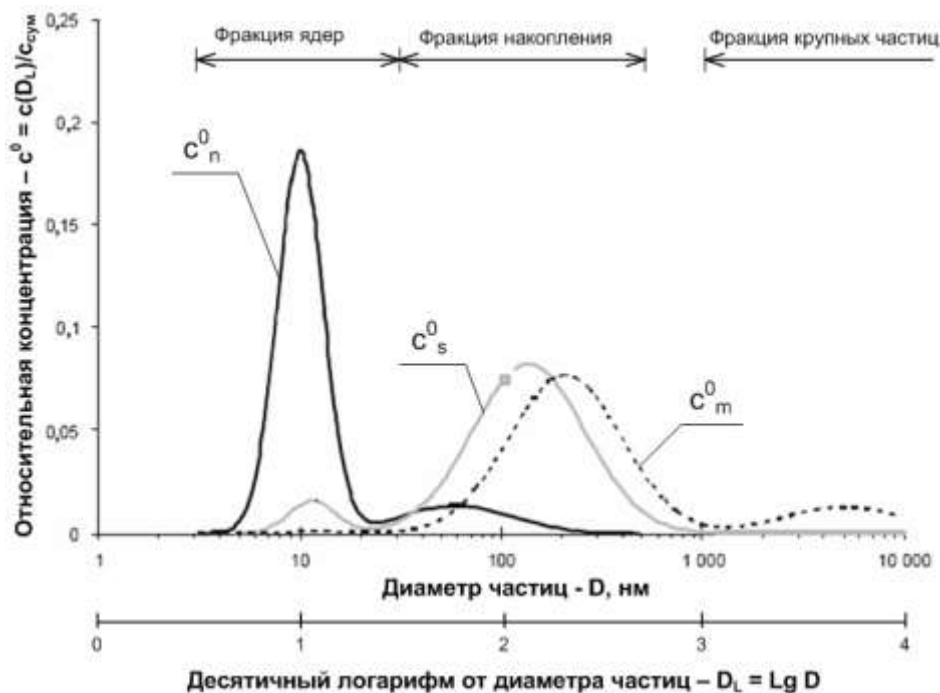


Рис. 1. Функции плотностей распределения относительных счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ

При рассмотрении дисперсного состава ТЧ выделяют 3 диапазона размеров частиц: фракцию ядер – 3...30 нм; фракцию накопления – 30...500 нм и фракцию крупных частиц – диаметр более 1000 нм (1 мкм). Представленные на рис. 1 графики функций плотностей распределения относительных счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ – c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 отражают следующие свойства дизельных частиц:

- на фракцию ядер приходится наибольшее

Целью исследований являлось комплексное оценивание эффективности сажевых фильтров дизелей по показателям счетной, поверхностной и массовой концентраций ТЧ с учетом их дисперсного состава. Для достижения данной цели решены следующие задачи: 1) анализ экспериментальных данных о количестве, площади поверхности и массе дизельных частиц различных размеров; 2) разработка методики комплексной оценки эффективности сажевого фильтра; 3) исследование эффективности работы фильтра с использованием разработанной методики.

Экспериментальные данные о значениях величин C_m , C_n и C_s

Результаты экспериментальных исследований о влиянии размеров частиц на счетную, поверхностную и массовую концентрации, обобщенные для разных типов дизелей, представлены на рис. 1 [6].

количество ТЧ – 90 % от общего количества, 20 % суммарной площади поверхности и 5 % от общей массы; при этом 80 % частиц и 15 % суммарной поверхности приходится на диапазон 10 ± 5 нм, в котором кривые c_n^0 и c_s^0 имеют максимум;

- относительные доли частиц фракции накопления составляют: 20 % от общего количества, 80 % от суммарной площади поверхности и 85 % от общей массы; в данной фракции наибольшее количество частиц (12 %) находится в диапазоне

30...100 нм, кривые c_s^0 и c_m^0 принимают максимальные значения в диапазонах 100...200 нм и 150...300 нм, соответственно;

- фракция крупных частиц характеризуется наименьшими значениями численности – 2 %, суммарной площади поверхности – 1 % и массы – 4%.

Данные, представленные на рис. 1, кроме информации о значениях функций c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 , отражают их соотношение и позволяют по изменению одной функции оценивать изменения двух других. Данное свойство использовалось при разработке представленной ниже методики.

Методика комплексной оценки эффективности сажевого фильтра

Предлагается оценивать эффективность применения фильтра по 3-м показателям относительного снижения счетной, поверхностной и массовой концентраций, определяемых с помощью следующей обобщенной формулы:

$$\mathcal{E}_p = \frac{(C_p)_{n/f} - (C_p)_f}{(C_p)_{n/f}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_p$ – эффективность фильтра по показателю p , под которым понимают: количество – n , поверхность – s или массу – m ТЧ; $(C_p)_{n/f}$ и $(C_p)_f$ – суммарные относительные концентрации частиц, находящихся в рассматриваемом диапазоне размеров, при отсутствии сажевого фильтра и при его использовании.

Для определения величин C_p используется формула:

$$C_p = \int_{D_{L1}}^{D_{L2}} c_p(D_L) \cdot dD_L, \quad (2)$$

где D_{L1} , D_{L2} – начальное и конечное значения интервала размеров (диаметров) ТЧ по шкале десятичных логарифмов; $c_p(D_L)$ – функция плотности распределения показателя p .

Функция $c_p(D_L)$ определяется на основе обобщенных функций распределения c_n^0 , c_s^0 и c_m^0 , представленных на рис. 1, а также известной экспериментальной функции распределения одного из показателей (обозначаемого p^*) – $c_{p^*}^r(D_L)$:

$$c_p(D_L) = K_r(D_L) \cdot K_p(D_L) \cdot c_{p^*}^r(D_L), \quad (3)$$

где $K_r(D_L)$ – функция коррекции экспериментальных данных; $K_p(D_L)$ – функция перехода от показателя p^* к показателю p .

Функции K_r и K_p находятся с помощью выражений:

$$K_r(D_L) = \frac{c_{p^*}^r(D_L)}{c_p^0(D_L)}; \quad (4)$$

$$K_p(D_L) = \frac{c_p^0(D_L)}{c_{p^*}^0(D_L)}, \quad (5)$$

где $c_{p^*}^0(D_L)$ – обобщенное значение функции плотности распределения для показателя p ; $c_{p^*}^0(D_L)$ – обобщенное значение функции плотности распределения для показателя p^* .

Так, например, если известна экспериментальная зависимость $c_n^r(D_L)$, то определяемая с помощью выражения (3) функция плотности распределения массовой концентрации имеет вид:

$$c_m(D_L) = K_r(D_L) \cdot K_m(D_L) \cdot c_n^r(D_L) = \frac{c_n^r(D_L)}{c_n^0(D_L)} \cdot \frac{c_m^0(D_L)}{c_n^0(D_L)} \cdot c_n^r(D_L).$$

Результаты исследований и их анализ

С помощью предложенной методики проведена комплексная оценка эффективности сажевого фильтра дизеля грузового автомобиля, для которого была известна зависимость счетной концентрации от размера частиц [3] (рис. 2).

В исследуемом диапазоне размеров частиц – 20...600 нм выделены два участка: 1-й – 20...40 нм – участок, на котором наблюдалось увеличение счетной концентрации после применения фильтра, и 2-й – 40...600 нм – участок, на котором счетная концентрация снижалась.

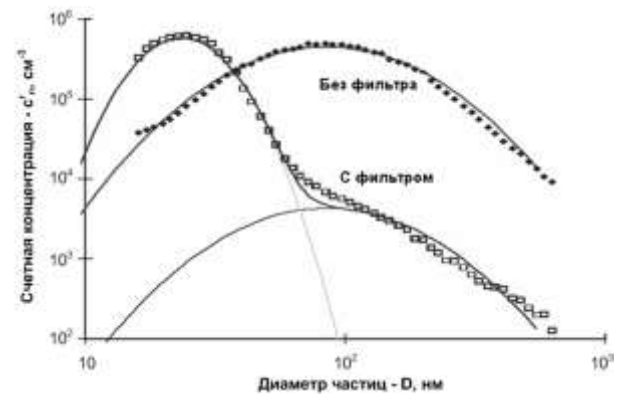


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований счетной концентрации ТЧ

На рис. 3 и 4 представлены результаты определения функций c_s и c_m , полученные с помощью выражения (3), и показателей эффективности фильтра, вычисленных с помощью выражения (1). При вычислении интегралов (2) использовался метод трапеций [7].

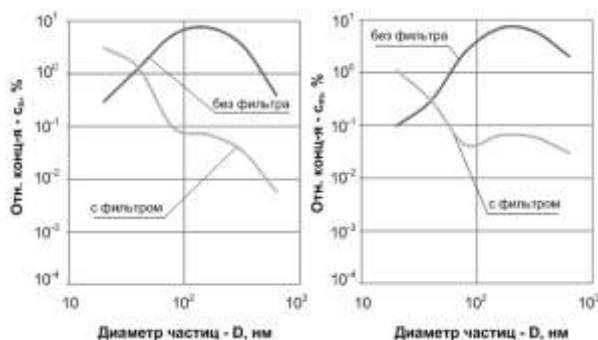


Рис. 3. Значения функций плотностей распределения c_s и c_m для исследуемого фильтра

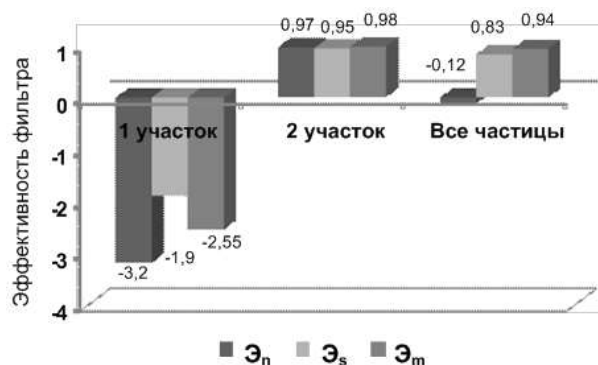


Рис. 4. Показатели эффективности исследуемого сажевого фильтра

Результаты исследований показывают:

- количество ТЧ: на 1-м участке - возрастает в 4,2 раза, на 2-м участке - уменьшается в 30,5 раз, во всем диапазоне - увеличивается на 12 %;

- площадь поверхности частиц: на 1-м участке - увеличивается в 2,9 раза, на 2-м участке - уменьшается в 18,2 раза, во всем диапазоне - снижается в 5,9 раза;

- масса ТЧ: на 1-м участке - возрастает в 3,55 раза, на 2-м участке - уменьшается в 49,1 раза, во всем диапазоне - снижается в 16,1 раза.

Таким образом, при значительном уменьшении суммарной поверхности и массы всех частиц общее их количество возрастает за счет увеличения числа мелкодисперсных частиц с размерами 20...40 нм. При этом относительная доля таких частиц при прохождении через фильтр возрастает с 26% до 98%.

Вывод

При оценивании эффективности работы сажевых фильтров необходимо учитывать фракционный состав улавливаемых частиц. Комплексная оценка

эффективности исследуемого фильтра показала, что при значительном снижении массовой концентрации полного потока ТЧ - на 93,8 % существенно возросло количество - в 4,2 раза, площадь поверхности - в 1,9 раза и масса - в 2,55 раза мелкодисперсных частиц с размерами 20...40 нм.

Список литературы:

1. Поливянчук А.П. Исследование степени токсичности вредных веществ, выбросы которых нормируются европейскими экологическими стандартами / А.П. Поливянчук, Е.Ю. Щепак, Е.Ю. Титова // Вестник Национального технического университета „ХПИ”. - 2007. - №2. - С. 112-115.
2. Mayer A. VERT: Curtailing emissions of diesel engines in tunnel sites // Technical reports. - April 1998. - 13 pp.
3. Burtscher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines / H. Burtscher // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL / GRPE. Fachhochschule Aargau, University of Applied Science, Windisch, Switzerland. - March 2001. - 45 p.
4. Звонов В.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С.Корнилов, А.В. Козлов, Е.А. Симонова // М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2005. - 312 с.
5. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. - National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. - Washington, DC. - May 2002. - 669 p.
6. Kittelson D.B. Review of diesel particulate matter sampling methods: Final Report / D.B. Kittelson, A. Megan, W.F. Watts // University of Minnesota, Minneapolis, MN. - 1999. - 63 p.
7. Стенцель Й.І. Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості, аналітичні прилади та методи контролю / Стенцель Й.І. // Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2001. - 269 с.

Bibliography (transliterated):

1. Polivyanchuk A.P. Issledovanie stepeni toksichnosti vreshhestv, vybrosty kotorykh normiruyutsya evropejskimi ekologicheskimi standartami / A.P. Poli-vyanchuk, E.Yu. Shhepak, E.Yu. Titova // Vestnik Nacional-nogo texnicheskogo universiteta „XPI”. - 2007. - №2. - S. 112-115.
2. Mayer A. VERT: Curtailing emissions of diesel engines in tunnel sites // Technical reports. - April 1998. - 13 pp.
3. Burtscher H. Literature Study on Tailpipe Particulate Emission Measurement for Diesel Engines / H. Burtscher // done for the Particle Measurement Programme (PMP) for BUWAL / GRPE. Fachhochschule Aargau, Uni-versity of Applied Science, Windisch, Switzerland. - March 2001. - 45 p.
4. Zvonov V.A. Ocenka i kontrol vybrosov dispersnyx chastic s otrabotavshimi gazami dizelej / V.A. Zvonov, G.S.Kornilov, A.V. Kozlov, E.A. Simonova // M.: Izdatelstvo Prima-Press-M, 2005. - 312 s.
5. Health assessment document for diesel engine exhaust / EPA/600/8-90/057F. - National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, U.S. En-vironmental Protection Agency. - Washington, DC. - May 2002. - 669 p.
6. Kittelson D.B. Review of diesel particulate matter sampling methods: Final Report / D.B. Kittelson, A. Megan, W.F. Watts // University of Minnesota, Minnea-polis, MN. - 1999. - 63 p.
7. Stencil J.I. Metrologiya ta texnologichni vimiryuvannya v ximichnij promislovosti, analitichni priladi ta metodi kontrolyu / Stencil J.I. // Lugansk: Vid-vo SNU im. V. Dallya, 2001. - 269 s.

Поступила в редакцию 27.06.2013

Поливянчук Андрей Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, uni@snu.edu.ua, (0642) 34-18-36.

Львов Сергей Александрович – старший преподаватель кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина, uni@snu.edu.ua, (0642) 34-18-36.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ САЖОВОГО ФІЛЬТРУ ПО ПОКАЗНИКАМ ЛІЧИЛЬНОЇ, ПОВЕРХНЕВОЇ ТА МАСОВОЇ КОНЦЕНТРАЦІЙ ДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК

А.П. Поливянчук, С.О. Львов

Запропоновано методику комплексної оцінки ефективності роботи сажового фільтру дизеля за трьома критеріями: лічильної, поверхневої та масової концентрацій твердих частинок з урахуванням їх дисперсного складу. Наведено результати оцінки ефективності сажового фільтру дизеля вантажного автомобіля з використанням запропонованої методики.

A COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE PARTICULATE MATTER FILTER IN TERMS OF THE COUNTING, SURFACE AND MASS CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER

A.P. Polivianchuk, S.A. Lvov

The technique of comprehensive performance of the diesel's particulate matter filter according to three criteria: the counting, surface and mass concentrations of particulate matter in view of their dispersion composition is offered. The results of the evaluation of the effectiveness of the diesel particulate matter filter for diesel truck using the proposed methodology is presented.

УДК 621.43.016

В.С. Морозова, В.С. Гун, В.Л. Поляцко

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ САЖИ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СГОРАНИЯ

Предложен метод определения содержания сажи в отработавших газах (ОГ) как инструмент снижения дымности дизеля. Показана возможность оценить влияние конструктивных и эксплуатационных параметров дизеля и регулятора на содержание сажи в ОГ, и, соответственно, скорректировать цикловую подачу на установившихся и переходных режимах. При этом определяется в каждом конкретном случае (цикле) минимальный коэффициент избытка воздуха, при котором дымность ОГ не выходит за нормативные пределы. Соответствующая математическая модель с достаточной точностью позволяет оценить влияние конструктивных параметров электронного регулятора и дизеля на содержания сажи в ОГ в переходном процессе при увеличении или уменьшении нагрузки еще на стадии проектирования и доводки. Приведены данные экспериментальных исследований.

Введение

Эффективность процесса сгорания характеризуется полнотой использования теплоты, введенной с топливом. Этот процесс оценивается коэффициентом эффективности сгорания ξ , который представляет собой отношение теплоты Q_i , потраченной на изменение внутренней энергии рабочего тела и совершения полезной работы, ко всей теплоте Q , вносимой топливом. Теплота Q частично теряется из-за неполного сгорания, тогда выделяемая теплота $Q_{\text{выд}} = \delta \cdot Q$, где δ - коэффициент выделения теплоты. Неполнота сгорания определяет токсичность ОГ (за исключением оксидов азота) и интенсивность образования сажи из-за неполного сгорания углерода. Часть выделившейся теплоты $Q_{\text{выд}}$ теряется вследствие диссоциации продуктов сгорания и теплообмена со стенками. Эти потери оцениваются коэффициентом использования теплоты Ψ , т.е. $Q_i = \Psi Q_{\text{выд}} = \delta \Psi Q$, а $\zeta = \delta \Psi$. Особенность предлагаемого

алгоритма состоит в том, что он позволяет без записи индикаторных диаграмм оценивать параметры рабочего цикла дизеля, характеризующие его экологические и экономические показатели на переходных и установившихся режимах работы. Для подтверждения теории были проведены испытания электронной системы автоматического регулирования (САРЧ) подачи топлива в зависимости от заданной величины частоты вращения коленчатого вала и изменения нагрузки.

Электронная САРЧ была установлена на тракторе Т-170.

Теоретическое обоснование расчетного метода

Математическая модель, описанная в статье, позволяет определить содержание сажи в ОГ, связь коэффициента эффективности сгорания дизеля ξ с коэффициентом наполнения η_v давлением и температурой наддувочного воздуха P_k, T_k и ко-

эффицентом избытка воздуха α . Это дает возможность управлять топливоподачей по критерию содержания сажи. Алгоритм, заложенный, например, в микроконтроллер электронного регулятора, позволяет по показаниям $P_k, T_k, P_0, T_0, G_T, G_c, P_{oc}, T_{oc}$ сенсоров определить содержание сажи в ОГ для выбранной цикловой подачи, а также параметры кинетики сгорания m, ξ, φ_z .

Алгоритм определения содержания сажи в ОГ базируется на теории рабочих процессов ДВС Вибе И.И. и разработан на основе экспериментальных и теоретических исследований, проведенных на кафедре ДВС ЮУрГУ профессором Буновым В.М. [1].

Содержание сажи в ОГ можно определить, если несгоревшее количество углерода отнести к объему ОГ:

$$D = \frac{1000 \cdot C \cdot \rho_{oc} \cdot \alpha_m}{\alpha \cdot L_o + 1}, \quad (1)$$

где D - содержание сажи в ОГ, г/м³; $\rho_{ог}$ - плотность отработанных газов, кг/м³; C - массовая доля углерода в топливе; α - коэффициент избытка воздуха; L_o - теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива; α_m - массовая доля углерода, пошедшая при сгорании в сажу ОГ.

$$\alpha_m = 1 - \frac{CO_2 + CO}{CO_{2пол}}, \quad (2)$$

где CO_2 и CO - действительное содержание, соответственно, углекислого газа и окиси углерода в ОГ в % по объему; $CO_{2пол}$ - максимальное содержание углекислого газа в ОГ, которое имело бы место при полном сгорании углерода в % по объему.

Многочисленные экспериментальные данные, полученные при анализе ОГ тракторных дизелей с наддувом и без наддува с камерами сгорания ЦНИДИ и MAN, показали, что содержание $CO_2, CO, CO_{2пол}$ определяется зависимостями:

$$CO_2 = \frac{0,86 \cdot \sqrt{m+1} + 13,6}{\alpha - 0,032}, \quad (3)$$

$$CO = \frac{0,136}{\eta_v (\alpha^2 + m)}, \quad (4)$$

$$CO_{2пол} = \frac{7,166}{0,4969 \cdot \alpha - 0,0322}, \quad (5)$$

где m - показатель характера сгорания, определяющий отвлеченное время, при котором наблюдается максимум скорости сгорания, вычисляется с ис-

пользованием структурной формулы Л.К. Зайцева [2]:

$$m = A_1 \cdot e^{-7,125\sigma_\tau}, \quad (6)$$

где A_1 - коэффициент, зависящий от способа смесеобразования (1,0 - для объемно-плёночного, 1,4 - для плёночного, 0,9 - для объемного); σ_τ - доля топлива, поданного в цилиндр за период задержки самовоспламенения, определяемая по относительным интегральным характеристикам впрыскивания, полученным на безмоторном стенде.

$$\sigma_\tau = 1,205 \cdot \left(\frac{\varphi_i}{\varphi_{впр}} \right)^{1,24}, \quad (7)$$

где φ_i - период задержки самовоспламенения, [град/ п.к.в.]; $\varphi_{впр}$ - продолжительность впрыскивания топлива, [град. п.к.в.].

Период задержки самовоспламенения определяем для двигателей с объемно-плёночным смесеобразованием в интервале значений

$d_c / D_u = (1,67 \dots 5,2) \cdot 10^{-3}$ по формуле С.А. Калашникова

$$\varphi_i = \frac{6 \cdot n \cdot 3,76 \cdot e^{(323d_c/D_u)} \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{T_k}{T_0} \right)^{1,15} \cdot \left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0,67} \cdot \left(\frac{d_c}{D_u} \right)^{0,7} \cdot \varepsilon_B^{1,05}} \times \frac{1}{\varepsilon \cdot (ЦЧ)^{0,9} \cdot \left(\frac{C_m}{C_K} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{V_{впр} \cdot G_u}{C_K \cdot V_a \cdot \rho_0} \right)^{0,11}}, \quad (8)$$

где d_c - диаметр сопла распылителя, м; D_u - диаметр цилиндра, м; P_k - давление воздуха во впускном коллекторе, МПа; T_k - температура воздуха во впускном коллекторе, К; P_0 - давление окружающей среды, МПа; T_0 - температура окружающей среды, °К; V_0 - полный объем цилиндра, м³; G_u - цикловая подача топлива, кг/цикл; ЦЧ - цетановое число; C_K - скорость звука в воздухе, м/с; C_m - средняя скорость звука, м/с; $V_{впр}$ - средняя скорость впрыскивания топлива, м/с; ρ_0 - плотность воздуха при давлении и температуре окружающей среды, кг/м³; ε - степень сжатия; ε_B - геометрическая степень сжатия.

Для определения средней скорости впрыскивания используем формулу Свиридова Ю.Б.:

$$V_{впр} = \frac{V_u \cdot 6 \cdot n_{к.в.}}{\mu \cdot f_c \cdot \varphi_{впр}}, \quad (9)$$

где $n_{к.в.}$ - частота вращения кулачкового вала топливного насоса, мин-1; V_u - объемная цикловая по-

дача, м³/цикл; $\varphi_{впр}$ - продолжительность впрыскивания топлива [град/ п.к.в.]; μ_{fc} - эффективная площадь сопловых отверстий, м³.

Применительно к двигателю 4 ЧН 15.0/20.5 (Д-160) на основании экспериментальных данных

$$\varphi_{впр} = 120 \cdot G_{\eta} + 0,995 \cdot 10^{-2} \cdot n - K, \quad (10)$$

где

$$K = 242,63 \cdot f_{\Sigma c}^4 \cdot 10^{24} - 871,88 \cdot f_{\Sigma c}^3 + 1165,6 \cdot f_{\Sigma c}^2 \cdot 10^{12} - 692,38 \cdot f_{\Sigma c} \cdot 10^6 + 150,41$$

$f_{\Sigma c}$ - суммарная площадь сопловых отверстий, м².

Зная долю углерода, пошедшую в сажу α_m , можно определить количество сажи в ОГ [3].

$$D = 1000 \cdot C \cdot a_m \cdot G_T / (30 \cdot n), \text{ г/цикл.} \quad (11)$$

Результаты расчетов содержания сажи D для дизеля Д-160 при его работе на переходном режиме приведены на рис. 1.

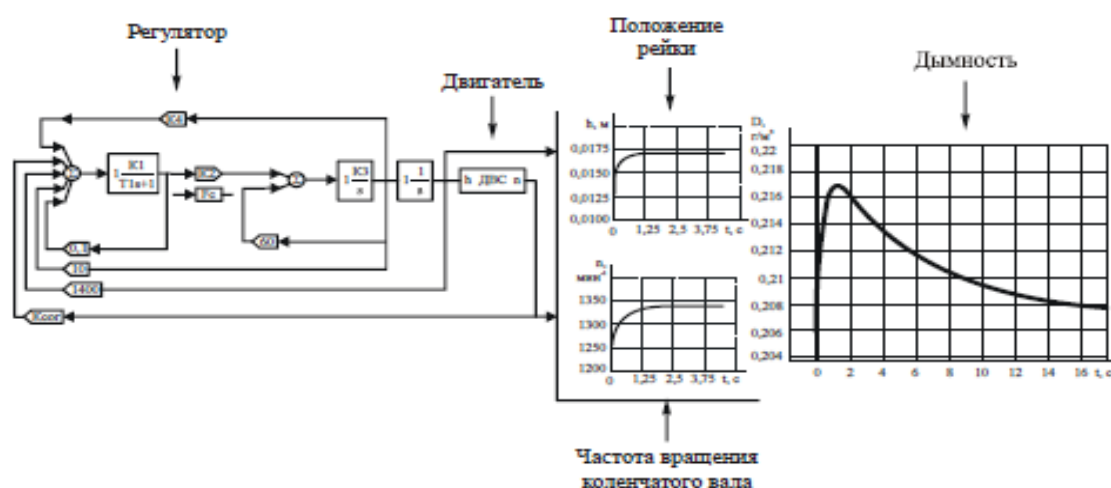


Рис. 1. Изменение содержания сажи D в отработавших газах дизеля Д-160 в переходном режиме работы

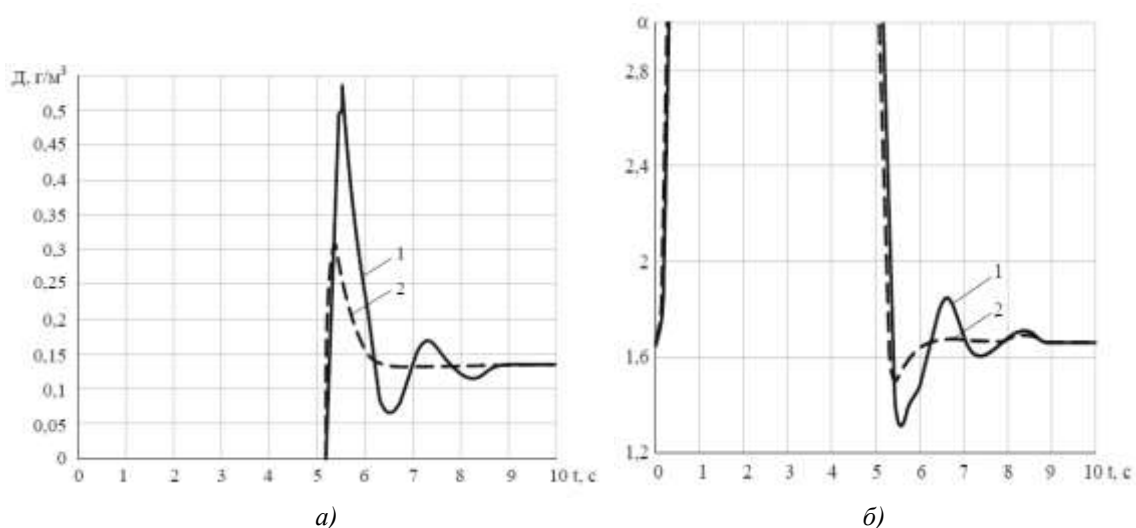


Рис. 2. Зависимости: а) коэффициента избытка воздуха от времени переходного процесса при изменении момента нагрузки от номинального значения ($M_{ном}$) до нуля и от нуля до номинального (1 – механический регулятор, 2 – базовый электронный регулятор); б) содержания сажи в ОГ дизеля от времени переходного процесса при изменении момента нагрузки от номинального значения до нуля и от нуля до $M_{ном}$; 1 – механический регулятор; 2 – базовый электронный регулятор

Были рассчитаны и измерены экологические показатели. Как видно из графиков (рис. 2) переходный процесс дизеля с механическим регулято-

ром сопровождается большими колебаниями коэффициента избытка воздуха, что приводит к увеличению выброса сажи в ОГ.

Применение электронного регулятора позволяет изменять длительность переходного процесса, а также улучшить экологические показатели. Для дизеля с опытным образцом электронного регулятора при резком изменении нагрузки, по сравнению с механическим, содержание сажи в отработавших газах и удельный расход топлива уменьшились, соответственно, на 0,11 г/м³ и 8 г/кВтч. Это объясняется большей точностью формирования цикловой подачи топлива.

Содержание сажи в начальной и конечной точках переходного процесса совпадает с экспериментальными данными.

Выводы

Предложенный метод определения содержания сажи в ОГ рассмотрен как инструмент снижения дымности дизеля, что дает возможность, в частности, скорректировать цикловую подачу на установившихся и переходных режимах его работы, а также анализировать влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на выходные параметры дизеля. Теоретически определяется в каждом конкретном случае (цикле) минимальный коэффициент избытка воздуха, при котором дымность ОГ не выходит за нормативные пределы. Соответствующий алгоритм определения сажи в ОГ

дает возможность программирования микроконтроллера.

Список литературы:

1. Бунов В.М. Повышение эффективности процесса сгорания в тракторных дизелях совершенствованием элементов систем впуска и управления топливоподачей: дис.... докт. техн. наук /Бунова В.М. - М.:МГТУ, 1999. – 289 с. 2. Зайцев Л.К. Исследование рабочего цикла при форсировании тракторного дизеля с использованием метода математического моделирования: дис... канд. техн. наук / Л.К. Зайцева - Челябинск.:ЧПИ, 1978. – 190 с. 3. Гун В.С. Улучшение динамики и экологических показателей переходных процессов дизеля с электронным управлением подачи топлива: дис... канд. техн. наук / Гун В.С. - Челябинск.:ЮУрГУ, 2009. – 218 с.

Bibliography (transliterated):

1. Bunov V.M. Povyshenie jeffektivnosti processa sgoraniya v traktornyh dizeljah sovershenstvovaniem jelementov sistem vpuska i upravleniya toplivopodachej: dis.... dokt. tehn. nauk /Bunova V.M. - M.:MGU, 1999. – 289 s. 2. Zajcev L.K. Issledovanie rabocheho cikla pri forsirovanii traktornogo dizelja s ispol'zovaniem metoda matematicheskogo modelirovaniya: dis... kand. tehn. nauk / L.K. Zajceva - Cheljabinsk.:ChPI, 1978. – 190 s. 3. Gun V.S. Uluchshenie dinamiki i jeologicheskikh pokazatelej perehodnyh processov dizelja s jelektronnym upravleniem podachi topliva: dis... kand. tehn. nauk / Gun V.S. - Cheljabinsk.:JuUrGU, 2009. – 218 s.

Поступила в редакцию 31.05.2013

Морозова Вера Сергеевна – доктор техн. наук, профессор кафедры эксплуатации автомобильного транспорта Южно-Уральского государственного университета «ЮУрГУ», Челябинск, Россия, e-mail: morozovavs@susu.ac.ru.

Гун Валентина Сергеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники Южно-Уральского государственного университета «ЮУрГУ», Челябинск, Россия, e-mail: vgoun@mail.ru.

Поляцко Владимир Леонидович – ассистент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта Южно-Уральского государственного университета «ЮУрГУ», Челябинск, Россия, e-mail: polyacko_2002@list.ru.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ САЖІ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДИЗЕЛЯ НА БАЗІ ПОЛОЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗГОРЯННЯ

В.С. Морозова, В.С. Гун, В.Л. Поляцко

Запропонований метод визначення вмісту сажі у ВГ розглянутий як інструмент зниження димності дизеліля і дає можливість оцінити вміст сажі у ВГ і скоригувати циклову подачу на сталих і перехідних режимах роботи. Розроблена методика визначення вмісту сажі у ВГ дозволяє аналізувати вплив конструктивних і експлуатаційних параметрів на вихідні параметри дизеля. Теоретично визначається в кожному конкретному випадку (циклі) мінімальний коефіцієнт надлишку повітря, при якому димність ВГ не виходить за нормативні межі. Таким чином, розроблена математична модель з достатньою точністю дозволяє оцінити вплив конструктивних параметрів електронного регулятора на параметри дизеля в перехідному процесі ще на стадії проектування і доведення.

FORECASTING OF THE CONTENT OF SOOT IN EXHAUST GASES OF THE DIESEL ON THE BASIS OF PROVISIONS BY DETERMINATION OF EFFICIENCY OF PROCESS OF COMBUSTION

V.S. Morozova, V.S. Goun, V.L. Polyacko

The proposed method for the determination of the soot content in exhaust gas is considered as a tool to reduce the opacity of diesel and an opportunity to assess the content of soot in the exhaust and adjust the cyclic pitch on the steady-state and transient operating conditions. The method of determination of the soot content in exhaust gas allows you to analyze the impact of design and operational parameters on the output parameters of a diesel engine. Theoretically determined in each case (cycle) the minimum excess air ratio at which the exhaust gas smoke is within regulatory limits. Thus, the mathematical model with sufficient accuracy to evaluate the influence of design parameters on the electronic control diesel engine options in the transition process from the design stage and finishing was developed.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ДВС В ПРИСУТСТВИИ КАТАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены вопросы нанесения высокотемпературных каталитически активных слоев на поверхности цилиндров и поршней ДВС методом микродугового оксидирования для обеспечения более полного сгорания топлива, снижения расхода топлива, нагарообразования и задымленности, содержания CO, NO_x в продуктах сгорания и, соответственно, повышения мощности двигателя.

Требования, предъявляемые в настоящее время к двигателям внутреннего сгорания, связаны с неполным сгоранием топлива и, соответственно, неизбежным образованием токсичных компонентов CO, NO_x, сажи. При рассмотрении возможности улучшения экономических и экологических параметров работы существующих ДВС, такие величины как давление и температура в цилиндре, а так же конструктивные характеристики двигателей практически неизменны. Одной из возможностей улучшения показателей ДВС может быть использование катализа непосредственно в камерах сгорания (КС).

Скорость сгорания распыленного жидкого топлива в двигателе зависит от химической реакции окисления, физических процессов испарения и диффузии. Как и во всякой химической реакции, скорость горения определяется изменением во времени концентрации реагирующих веществ или образующихся продуктов реакции. Характеристикой реакционной способности топлива является константа скорости химической реакции (k), отражающая вероятность вступления в химическое взаимодействие молекул окислителя и топлива при их соударении в соответствии с уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-E/RT},$$

где k_0 - максимальное значение константы скорости химической реакции, зависящей от реакционной способности топлива; E - энергия активации реагирующих веществ, кДж/моль; R - универсальная газовая постоянная, $R = 8,321$ кДж/(моль·К); T - абсолютная температура, К [1]. Реакция имеет место только в том случае, если соударение молекул происходит с энергией, достаточной для разрушения старых молекулярных связей. После получения такой энергии внутренние связи в молекуле разрушаются, и она становится готовой к образованию нового вещества.

Каталитическое сжигание резко отличается от традиционных способов, так как окисление топлива может происходить на поверхности твердого катализатора при уникально низких температурах - 650-1200 К, что практически исключает образова-

ние оксидов азота в этом процессе. Существующие катализаторы процессов сжигания углеводородных топлив делятся на две группы: на основе благородных металлов, в основном Pd и Pt, и на основе оксидов переходных металлов (Mn, Co, Fe и др.), в том числе сложного состава (шпинели, перовскиты, гексаалюминаты). Определёнными перспективами относительно обеспечения работоспособности при высокой температуре, обладает семейство катализаторов на основе оксидов марганца с гранулированным алюмооксидным носителем. При этом образование высокотемпературных соединений оксидов Mn и Al не только обеспечивает высокую термостабильность катализаторов, но и вносит существенный вклад в общую реакционную способность катализатора [2].

Разработки авторов НТУ «ХПИ» в данном направлении позволяют выдвинуть гипотезу о возможности использования новых для ДВС физических и химических явлений для повышения качества сгорания топлив созданием на вентильных металлах покрытий сложными оксидами переходных металлов в режимах микродугового оксидирования (МДО). Проведенные исследования по проверке гипотезы доказали ее адекватность. Установлена возможность включения в состав покрытий на сплавах алюминия оксидов марганца, кобальта и других переходных металлов, которые, как известно, проявляют высокие каталитические свойства в гетерогенных окислительно-восстановительных реакциях.

Системы покрытий $Al|Al_2O_3 \cdot Mn_xO_y$, нанесенные на подложку из алюминия были испытаны как активные материалы в процессе гетерофазного беспламенного окисления бензола воздухом в проточном реакторе. Активность синтезированных оксидных систем сравнивали с характеристиками традиционного каталитического контакта на шамоте $SiO_2 \cdot Al_2O_3|Pd$ (содержание палладия до 5 %), полученного путем пропитки пористого керамического носителя солями палладия с последующим термолизом и многократным обжигом и восстановлением в среде водорода. Значение температуры зажигания (T_z) реакции на $Al|Al_2O_3 \cdot Mn_xO_y$ в 2–3

раза ниже в сравнении с T_3 на контакте $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pd}$, а глубина окисления бензола, определяемая количеством образующегося CO_2 , при температуре, например, 300°C в 5,5 раз выше. Следует отметить, что в отсутствие катализаторов температура зажигания составляет $500\text{--}600^\circ\text{C}$, причем процесс окисления в воздушной среде сопровождается образованием токсичных оксидов азота. Поэтому при повышении температуры в зоне реакции разница в эффективности исследованных материалов уменьшается, однако даже при $T = 500^\circ\text{C}$ катализаторы покрытия смешанными оксидами $\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$ превышают характеристики $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pd}$ вдвое.

Полученные при испытаниях результаты (табл. 1) показывают, что МДО покрытия смешанными оксидами являются более эффективными катализаторами окисления бензола в сравнении с материалами даже на основе благородных металлов. При этом, по нашему мнению, очень важной характеристикой материала является температура

зажигания реакции, поскольку при ее понижении не образуются токсичные оксиды азота, что и наблюдается при испытаниях систем $\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$, в отличие от традиционных контактов с достаточно высокой T_3 (см. табл. 1).

Можно заключить, что синтезированные системы являются эффективными катализаторами для процессов дожигания углеводородов, преобразования монооксида углерода в диоксид, а также обезвреживания газовых выбросов транспорта и промышленных предприятий от несгоревших углеводородов и токсичных компонентов [3, 4].

Каталитическую активность покрытий смешанными оксидами $\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$ исследовали не только в реакциях окисления, но и в гетерогенных реакциях неселективного (водородом) и селективного (аммиаком) восстановления оксидов азота по схеме:

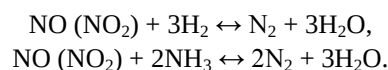


Таблица 1. Характеристики процесса окисления бензола при $w = 20000 \text{ ч}^{-1}$

Материал	Содержание активного компонента, % масс.	Температура зажигания T_3 , $^\circ\text{C}$	$T=500^\circ\text{C}$	
			Выход CO_2 , %	Содержание NO_x , мг/м^3
$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pd}$	5	400	72	6,7
$\text{Al} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$	95	157	85	—
$\text{Al} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$	75	170	81	—
$\text{Al} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$	55	180	78	—

Для сравнения использовали данные, полученные при испытаниях нанесенных платиновых катализаторов. Результаты эксперимента (табл. 2) свидетельствуют, что независимо от природы газавосстановителя, степень превращения оксидов азота и температурные интервалы реакции на системе $\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$ сопоставимы с параметрами платиновых катализаторов. При этом следует отметить, что эффективность смешанных оксидных систем в неселективном процессе все же выше, чем в

реакции с участием аммиака. Приведенные результаты позволяют утверждать, что синтезированные смешанные оксидные системы могут оказаться весьма эффективными каталитическими материалами для восстановления оксидов азота [5, 6]. Тем более, что способ их получения в одностадийном процессе на металлическом носителе создает условия для эффективной реставрации каталитического слоя и регенерации его активности по мере износа.

Таблица 2. Тестирование каталитических материалов в реакциях неселективного (H_2) и селективного (NH_3) восстановления оксидов азота

Покрытие	Степень восстановления NO_x , %		Интервал рабочих температур, $^\circ\text{C}$	
	H_2	NH_3	H_2	NH_3
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Pt}$ (0,1 %)	98	98	100–150	150
$\text{Al} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$ (95 %)	96	92	120–160	200

Таким образом, экспериментально установлен факт незначительного отличия каталитической активности смешанных оксидных покрытий

$\text{Al}|\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Mn}_x\text{O}_y$ в модельных окислительно-восстановительных реакциях от свойств контактов на основе платины и палладия. Разработанные тех-

нології можуть бути використані при створенні нових матеріалів для гетерогенного катализа і в екотехнологіях.

Список литературы:

1. Гардинер У. Химия горения / [Гардинер У., Диксон-Льюис Г., Целнер Р. И др.] пер. с англ. : под ред. У. Гардинера – М. : Мир, 1988. – 464 с., 2. Пармон, В. Н. Применение каталитических камер сгорания в газотурбинных установках децентрализованного энергоснабжения / В. Н. Пармон, З. Р. Исмаилов, О. Н. Фаворский, А. А. Белоконь, В. М. Захаров // Вестник Российской академии наук, 2007. – том 77. – № 9, с. 819-830; 3. Стайлз Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы: теория и практика. / Под ред. Слинкина А.А. – М.: Химия, 1991. – 240 с.; 4. Пат. 23824А Украина, МКІ В 01 J 37/02. Спосіб одержання ката-лизатора відновлення оксидів азоту на основі неблагородних металів / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.І. Степанова, О.В. Богоявленська.; заявник і власник патенту НТУ „ХПІ”. – №97052097; заявл. 06.05.97; опубл. 16.06.98, Бюл. № 4.; 5. Электрохимический синтез каталитически активных систем / Т.Н. Байрачная, Т.А. Ненастина, Е.В. Богоявленская и др. / Сборник тезисов докладов Всерос. конф. с междунар. участием „Каталитические технологии защиты окружающей среды для промышленности и транспорта”. – СПб, 11-14 декабря 2007. – С. 151–153.; 6. Сахненко Н.Д. Элек-

трохимический синтез катализаторов очистки газовых выбросов от оксидов азота / Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь, Е.В. Богоявленская, и др. // Гальванотехника и обработка поверхности. – М.: РХТУ, 1993. – Т. 1. – № 1. – С. 53 – 55.

Bibliography (transliterated):

1. Gardiner U. Himija gorenija / [Gardiner U., Dikson-L'juis G., Celner R. I dr.] per. s angl. : pod red. U. Gardinera – M. : Mir, 1988. – 464 s., 2. Parmon, V. N. Primenenie kataliticheskikh kamer sgoranija v gazoturbinnih ustanovkah decentralizovannogo jenergosnabzhenija / V. N. Parmon, Z. R. Ismagilov, O. N. Favorskij, A. A. Belokon', V. M. Zaharov // Vestnik Rossijskoj akademii nauk., 2007. – tom 77. – № 9, s. 819-830; 3. Stajlz Je.B. Nositeli i nanesenye katalizatory: teorija i praktika. / Pod red. Slinkina A.A. – M.: Himija, 1991. – 240 s.; 4. Pat. 23824A Ukraina, MKI B 01 J 37/02. Sposib oderzhannja kata-lizatora vidnovlennja oksidiv azotu na osnovi neblagorodnih metaliv / M.D. Sahnenko, M.V. Ved', I.I. Stepanova, O.V. Bogojavlensk'a.; zajavnik i vlasnik patentu NTU „HPI”. – №97052097; zajavl. 06.05.97; opubl. 16.06.98, Bjul. № 4.; 5. Jelektrohimicheskij sintez kataliticheski aktivnyh sistem / T.N. Bajrachnaja, T.A. Nenastina, E.V. Bogojavlenskaja i dr. / Sbornik tezisov dokladov Vseros. konf. s mezhduнар. uchastiem „Kataliticheskie tehnologii zashhity okruzhajushhej sredy dlja promyshlennosti i transporta”. – SPb, 11-14 dekabrja 2007. – S. 151–153.; 6. Sahnenko N.D. Jelektrohimicheskij sintez katalizatorov ochistki gazovyh vybrosov ot oksidov azota / N.D. Sahnenko, M.V. Ved', E.V. Bogojavlenskaja, i dr. // Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti. – M.: RHTU, 1993. – T. 1. – № 1. – S. 53 – 55.

Поступила в редакцию 06.06.2013

Ведь Марина Владимировна - доктор техн. наук, профессор кафедры интегрированных технологий, процессов и аппаратов Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Сахненко Николай Дмитриевич – доктор техн. наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Богоявленская Елена Владимировна – канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры физической и коллоидной химии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ДВЗ В ПРИСУТНОСТІ КАТАЛІТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

М.В. Ведь, М.Д. Сахненко, О.В. Богоявлінська

Розглянуто питання нанесення високотемпературних каталітично активних шарів на поверхні циліндрів і поршнів ДВЗ методом мікродугового оксидування для забезпечення більш повного згоряння палива, зниження витрат палив, нагароутворення і задимленості, вмісту CO, NO_x в продуктах згоряння і, відповідно, підвищення потужності двигуна.

ORGANIZATION OF THE WORKING PROCESS IN THE COMBUSTION CHAMBER OF ICE WITH A CATALYTIC MATERIALS

M.V. Ved, N.D. Sahnenko, E.V. Bogojavlenskaja

Considered the issues of application of high-temperature catalytically active layers on the surface of the cylinder and piston internal combustion engine by microarc oxidation to ensure more complete combustion of fuels, reduce races progress fuels, carbon formation and smoke, CO and NO_x in flue gases and accordingly increase the engine power.