

УДК 621.43.068.4

А. Н. КОНДРАТЕНКО, инж. ИПМаш им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО- И МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ФИЛЬТРЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДИЗЕЛЯ. ЧАСТЬ 3: ВОПРОСЫ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕОЛИТА В КОНСТРУКЦИИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО
ЭЛЕМЕНТА**

Рассмотрены вопросы проектирования действующего макета модуля фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля, приведены результаты исследований параметров работы действующего макета на моторном испытательном стенде с дизелем 2Ч10,5/12, а также рассмотрены вопросы определения свойств насыпного среднedisперсного цеолита как пористого тела.

Ключевые слова: дизель, отработавшие газы, экологизация, твердые частицы, фильтр, цеолит.

Введение

Создание эффективного, технологичного и надежного фильтра твердых частиц (ФТЧ) отработавших газов дизельных двигателей является актуальной задачей, стоящей перед специалистами в области двигателей внутреннего сгорания. Повышение точности математического моделирования тепло- и массообменных процессов в таких фильтрах позволяет более эффективно осуществлять оптимизацию их конструкции.

Анализ литературных источников

В предыдущих частях исследования было выполнено обоснование модернизации конструкции модуля фильтрующего элемента (ФЭ), а также дополнение баз данных по свойствам пористого тела (ПТ) [1], баз данных по свойствам реального рабочего тела в ФТЧ, материалов, из которых изготовлен ФЭ, а также по свойствам твердых частиц (ТЧ) [2]. Кроме того, описана программа и методика экспериментального получения параметров работы действующего макета ФЭ, а также конструкция моторного испытательного стенда, модернизированного для проведения этого исследования [2].

Цель и постановка задачи исследования

Цель данного исследования – повышение точности математического моделирования тепло- и массообменных процессов в полостях ФЭ ФТЧ дизеля, за счет ее дополнения данными о свойствах материалов ФЭ и рабочего тела.

Задачи данного исследования:

- 1) экспериментальное получение значений краевых условий, необходимых для моделирования процесса течения ОГ через ФТЧ;
- 2) экспериментальное получение значений параметров работы ФЭ;
- 3) экспериментальное получение свойств насыпного среднedisперсного цеолита как пористого тела.

1. Экспериментальное получение значений краевых условий

Программа и методика данного экспериментального исследования описана в [2]. Там же приведены схема и описание моторного испытательного стенда с дизелем 2Ч10,5/12.

© А. Н. Кондратенко, 2012

Эскиз объекта исследования – действующего макета модуля (ДММ) ФЭ ФТЧ – приведен на рис. 1б. Эскиз действующего макета (ДМ) ФЭ в сборе, состоящего из четырех ДММ ФЭ, а также уплотняющих шторок, приведен на рис. 1а. Согласно эскизу ДМ ФЭ был изготовлен и собран, его внешний вид представлен на рис. 2.

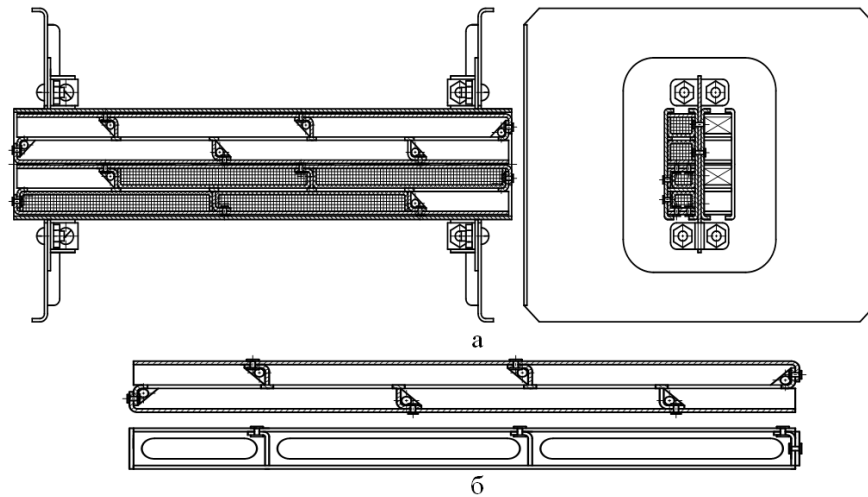


Рисунок 1 – Эскизы: а – ДМ ФЭ ФТЧ; б – ДММ ФЭ

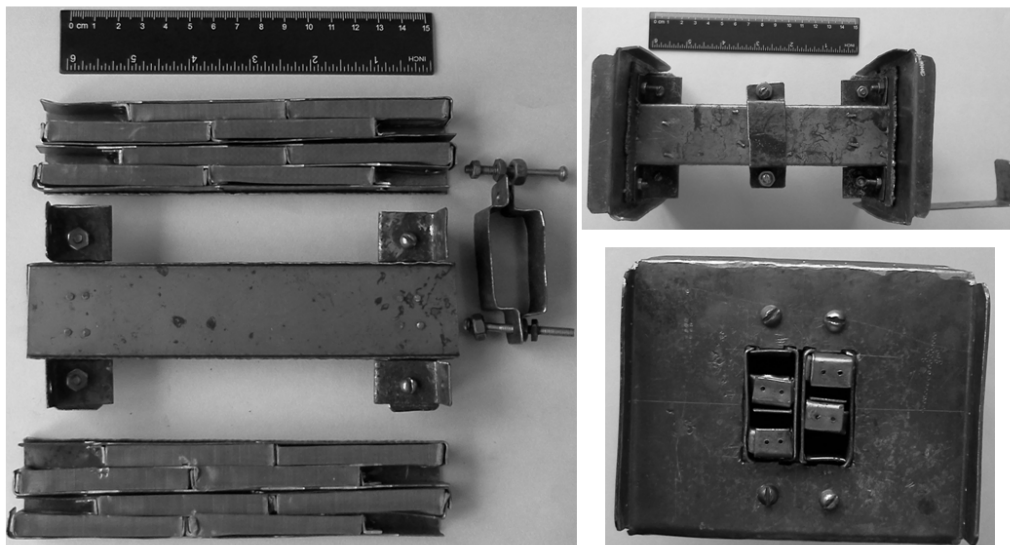


Рисунок 2 – Внешний вид ДММ ФЭ ФТЧ

Согласно программе и методике, представленной в [2], было проведено экспериментальное исследование по определению параметров ОГ в выпускном тракте моторного стенда после его модернизации. Полученные данные будут использованы в качестве краевых условий при моделировании тепло- и массообменных процессов в ФТЧ дизеля. Результаты исследования представлены на рис. 3. Это зависимости перепада давления ОГ на пустой макетоудерживающей вставке ΔP_{mv} , перепада давления между сечением на входе в пробоотборный зонд и атмосферой $\Delta P_{вып}$, а также температуры ОГ в сечении на выходе из выпускного коллектора дизеля $t_{ог}$ от массового расхода ОГ G_{mOG} для трех характерных режимов работы дизеля: (холостой

ход при $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, режим предела дымления ($M_{кр} = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$) и режим максимального крутящего момента ($M_{кр} = 110 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$), а также зависимость степени зачернения тefлонового фильтра D от крутящего момента дизеля $M_{кр}$ при неизменной частоте вращения коленчатого вала $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$. Эти зависимости.

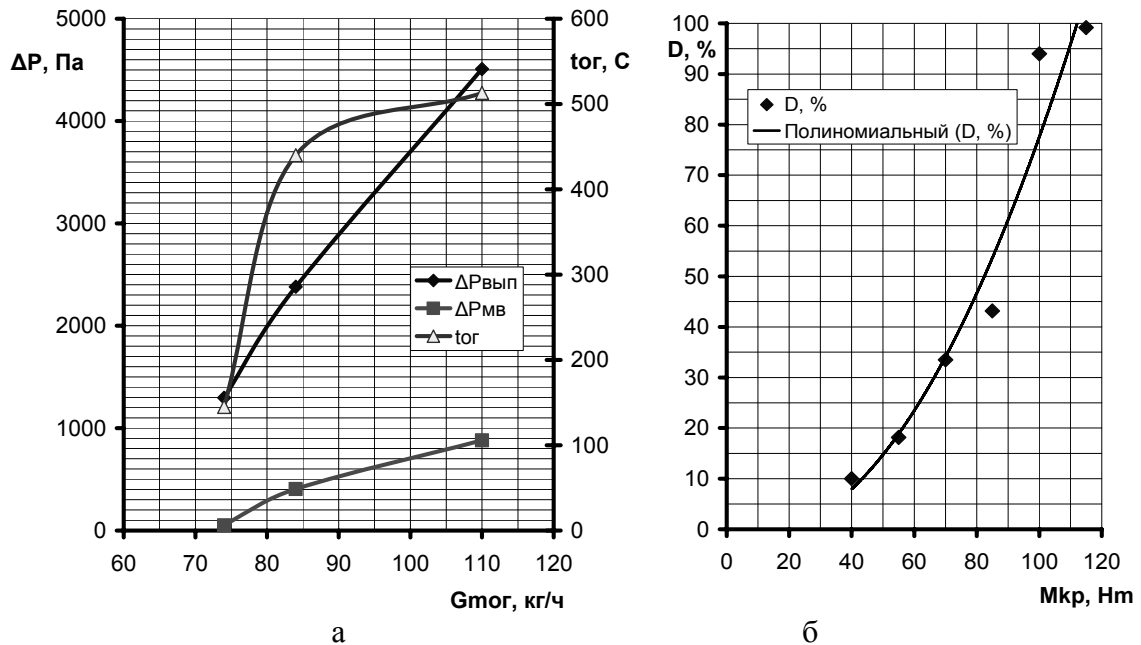


Рисунок 3 – Результаты исследования: а – перепадов давления; б – зачернения фильтра

Параметры работы ДМ ФЭ были получены при моторных испытаниях на этом стенде для режима предела дымления. На этом режиме гидравлическое сопротивление ДМ ФЭ составило 6 кПа, а эффективность очистки ОГ, согласно методу, описанному в [3], составила 20 %. Состояние поверхностей ДМ ФЭ после испытаний представлено на рис. 4.



Рисунок 4 – ДМ ФЭ после испытаний

2. Исследование свойств насыпного гранулированного цеолита как ПТ

Очевидно, что указанная выше степень очистки ОГ недостаточно высока. Для повышения этого показателя в конструкцию ДМ ФЭ введен новый элемент – насыпной среднedisперсный цеолит (природный туф, являющийся высокоэффективным сорбентом, отличается также жаростойкостью и малой себестоимостью добычи). Он введен в конструкцию в виде насыпного наполнения кассет из стальной тканой сетки, степень плотности насыпки 100 % (см. рис. 6), размер используемой фракции характеризуется средним диаметром частиц 3 мм. Его внешний вид представлен на рис. 5.

Для моделирования такого материала в конструкции ДМ ФЭ, который сам по себе является микропористым телом, а в виде насыпки представляющем из себя макропористое тело, было проведено экспериментальное исследование на безмоторном стенде, описанным в [4], по описанной там же методике.

Для этого исследования был спроектирован и изготовлен держатель образца, имеющий цилиндрическую полость, которая имеет объем и проходное сечение, равные объему и проходному сечению полости ячейки модуля ФЭ. Его эскиз приведен на рис. 5. Результаты исследования приведены на рис. 6.

Для получения данных, необходимых для проектирования ДМ ФЭ с цеолитом в кассетах было проведено экспериментальное исследование на безмоторном стенде. Для этого описанный в [4] и [5] прозрачный макет модуля (ПММ) ФЭ был дополнен съемными кассетами из стальной тканой сетки. Его внешний вид представлен на рис. 5. В результате исследования получены зависимости гидравлического сопротивления прозрачного макета модуля ФЭ с пустыми кассетами из стальной сетки и кассетами, заполненными насыпным среднedisперсным цеолитом на 50 и 100%, от удельного массового расхода текучей среды через безмоторный стенд $g_{твозд}$. Они представлены на рис. 6. Как видно на рис. 6, заполнение кассет цеолитом, отличное от 100% мало сказывается на его гидравлическом сопротивлении, и поэтому использоваться в ДМ ФЭ не будет. Так при 50% заполнении кассет ПММ цеолитом его гидравлическое сопротивление уменьшается на 30%.

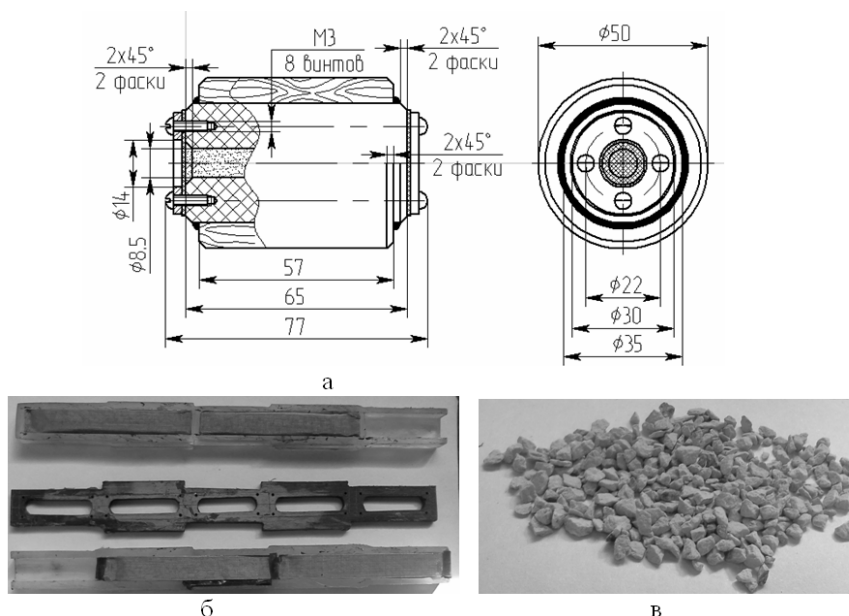


Рисунок 5: а – держатель образца с цеолитом; б – цеолит; в – прозрачный макет модуля ФЭ с кассетами и цеолитом

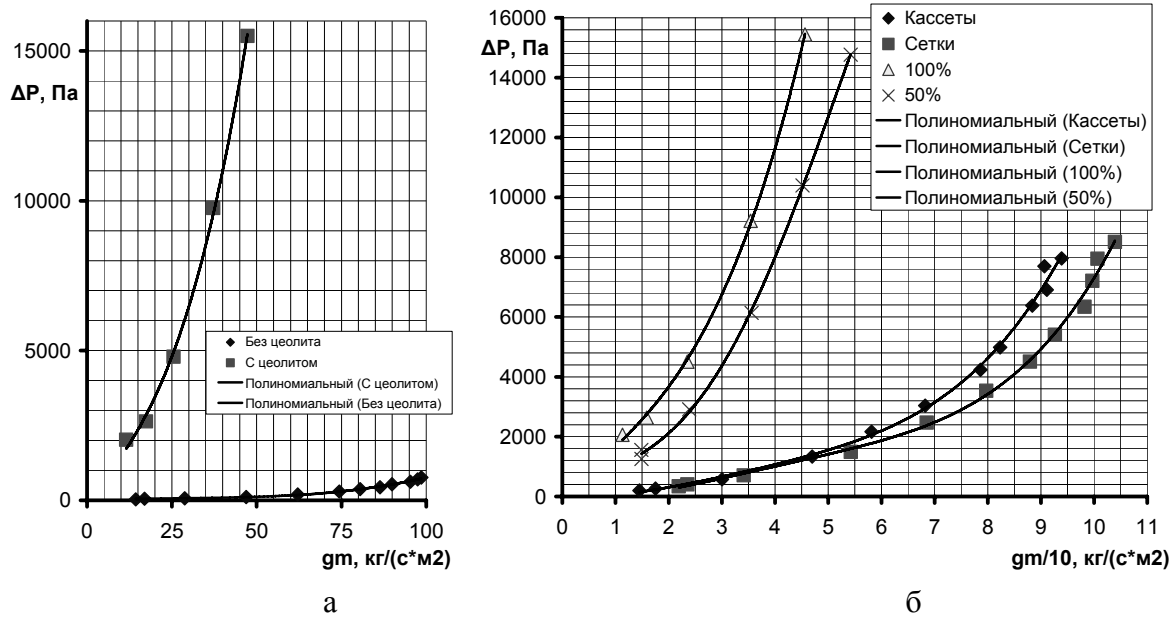


Рисунок 6 – Результаты испытаний: а – полости с цеолитом; б – ПММ $\Phi Э$ с кассетами

Для определения зависимости свойств объемов, заполненных насыпным цеолитом в условиях выпускной системы моторного стенда спроектирован и изготовлен упрощенный действующий макет (УДМ) $\Phi Э$. Он имеет объем, заполненный насыпным цеолитом, а также суммарное проходное сечение на входе и выходе, равные объему полостей с цеолитом и суммарному проходному сечению на входе в $\Phi Э$, состоящему из пятидесяти модулей. Его эскиз и внешний вид приведен на рис. 7.

Для определения эффективности использования насыпного цеолита для очистки ОГ дизелей от ТЧ был спроектирован и изготовлен ДМ $\Phi Э$ с кассетами из стальной тканой сетки, заполненными насыпным цеолитом на 100% (ДМЦ). Согласно данным на рис. 8б и учитывая, что в штатной системе выпуска дизеля 2Ч10,5/12 значение удельного массового расхода ОГ g_{mOG} равно 15,8 кг/(с·м²), а также учитывая, что экспериментально полученное значение противодавления ДМ $\Phi Э$ с пустыми кассетами из стальной сетки вдвое превышало значение противодавления, полученное на безмоторном стенде для ПМ $\Phi Э$ с кассетами из стальной сетки, незаполненными цеолитом, количество модулей ДМЦ принято равным 20. Его внешний вид приведен на рис. 8. Как видно на рис 8, ДМЦ от ДМ $\Phi Э$ также отличается отсутствием в его конструкции соединительной пластины (кассеты соприкасаются непосредственно друг с другом) и отсутствием закрепления перегородок между кассетами одной ячейки. Такие технические решения позволяют снизить вес $\Phi Э$ и увеличить его технологичность. Навеска цеолита, использованная в ДМЦ $\Phi Э$ составила 240 грамм, то есть на одну кассету приходится 3 грамма цеолита. Учитывая объем внутреннего пространства кассеты равный 3300 мм³, можно считать, что насыпка цеолита такой фракции имеет плотность 909 кг/м³.

Природный цеолит характеризуется плотностью 1900...2600 кг/м³ (в зависимости от химического состава) и насыпной плотностью 620...1200 кг/м³ (в зависимости от размера фракции), а также удельной теплоемкости около 1 кДж/(кг·с), пористостью около 50% (диаметр каналов 0,27 нм), способен адсорбировать до 0,2 см³ паров воды на 1 см³ собственного объема. Природный цеолит в 4...5 раз дешевле синтетического [6].

Результаты экспериментального исследования УДМ и ДМЦ на моторном стенде с дизелем 2Ч10,5/12 будут представлены в следующей части работы.

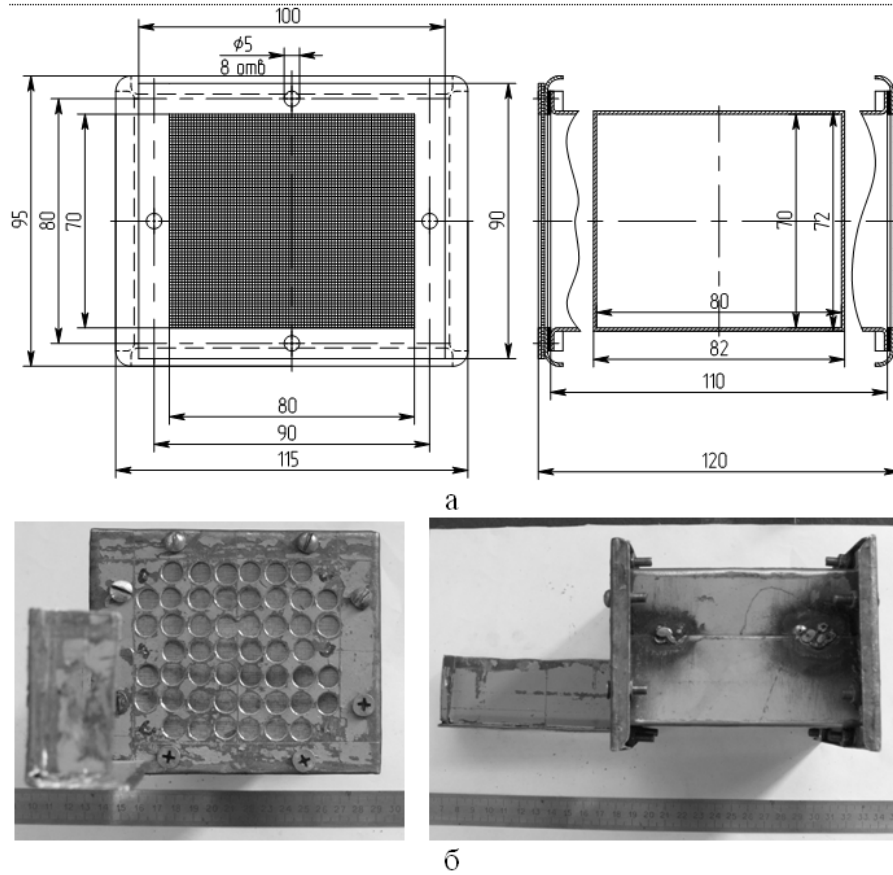


Рисунок 7 – УДМ ФЭ: а – эскиз; б – внешний вид

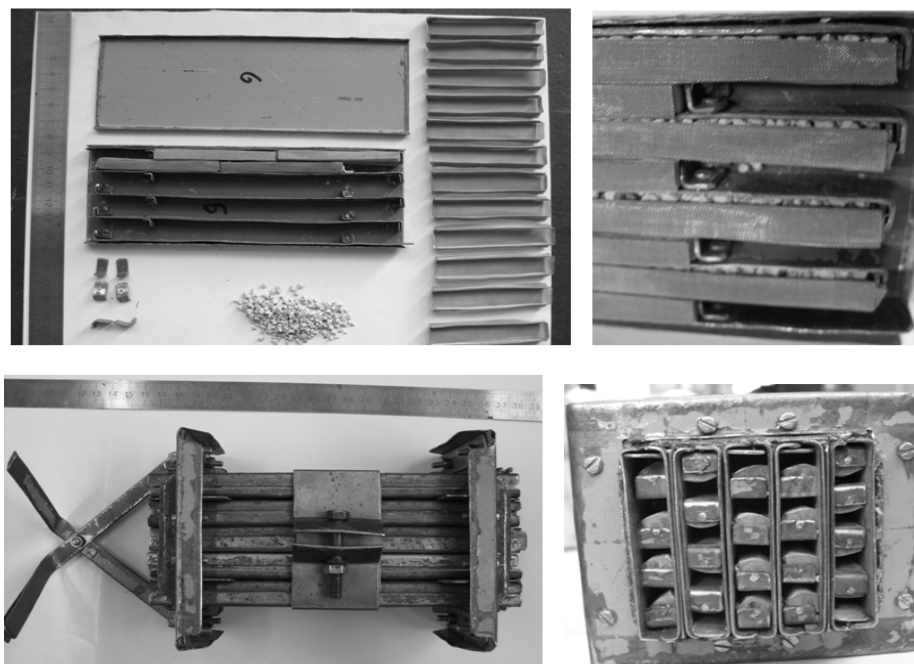


Рисунок 8 – Устройство и внешний вид ДМЦ

Выводы

В работе рассмотрены следующие аспекты повышения точности математического моделирования тепло- и массообменных процессов в ФТЧ:

- 1) спроектированы и изготовлены ДМ ФЭ, УДМ ФЭ и ДМЦ ФЭ, ПММЦ, а также образцы для определения свойств насыпного среднедисперсного цеолита как ПТ;
- 2) экспериментальным путем получены параметры ОГ в выпускной системе моторного стенда после его модернизации, а также параметры работы ДММ ФЭ на моторном стенде с дизелем 2Ч10,5/12 для режима предела дымления – его гидравлическое сопротивление составляет 6 кПа, а эффективность очистки ОГ – 20%;
- 3) экспериментальным путем получены свойства насыпного среднедисперсного цеолита как ПТ на безмоторном и моторном стенде.

Список литературы: 1. Кондратенко А. Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 1: модернизация конструкции фильтра и дополнение базы данных по свойствам пористого тела / А. Н. Кондратенко, А. П. Строков, А. Н. Авраменко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 1. – С. 82-88. 2. Кондратенко А. Н. Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 2: дополнение баз данных по свойствам материалов фильтра и рабочего тела, определение значений краевых условий / А. Н. Кондратенко, А. П. Строков, В. М. Семикин // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 2. – С. 87-92. 3. Варшавский И. Л. Токсичность дизельной сажи и измерение сажеобразования дизельного выхлопа / И. Л. Варшавский, Ф. Ф. Мачульский // Сборник трудов ЛАНЭ. – 1969. – С. 120–157. 4. Строков А. П. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления макета модуля фильтра твердых частиц быстроходного дизеля / Строков А. П., Кондратенко А. Н. // Автомобильный транспорт: сборник научных трудов. – 2011. Выпуск 29 – С. 48-54. 5. Строков А. П. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления макета модуля фильтра твердых частиц быстроходного дизеля. Часть 2 / Строков А. П., Кондратенко А. Н. // Вестник Национального технического университета "ХПИ". Сборник научных трудов. Тематический сборник: Транспортное машиностроение. Харьков: НТУ "ХПИ". – 2012. – №19 – С 121-128. 6. Природный цеолит [Электронный ресурс] / Режим доступа: zeolit.spb.ru.

Поступила в редколлегию 15.11.2012

УДК 621.43.068.4

Моделирование тепло- и массообменных процессов в фильтре твердых частиц дизеля. Часть 3: вопросы использования цеолита в конструкции фильтрующего элемента / А. Н. Кондратенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 83–89. – Бібліогр.: 6 назв.

Розглянуто питання проектування діючого макету модуля фільтруючого елементу фільтра твердих частинок дизеля, наведено результати дослідження параметрів роботи діючого макету на моторному випробувальному стенді з дизелем 2Ч10,5/12, а також розглянуто питання визначення властивостей насипного середньодисперсного цеоліту як пористого тіла.

Ключові слова: дизель, відпрацьовані гази, екологізація, тверді частинки, сажовий фільтр, цеоліт.

This article describes how to design the working layout of the filter element of diesel particulate filter, the results of investigations of the parameters of the working model of the filter element on the engine test band with diesel 2Ч10,5/12, as well as the issues of determining the properties of bulk zeolite medium size as a porous media.

Keywords: diesel, exhaust gases, ecologization, particulate matter, soot filter, zeolite.