

УДК 629.018

ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПОРИСТОГО МАТЕРІАЛУ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ФІЛЬТРА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

А.В. Ільченко, доцент, к.т.н., В.Ю. Балюк, аспірант, Житомирський державний технологічний університет

Анотація. Розроблено спосіб визначення гідравлічного опору пористого матеріалу фільтруючого елемента фільтра відпрацьованих газів автомобіля.

Ключові слова: пористість, фільтр, моделювання.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ФИЛЬТРА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

А.В. Ильченко, доцент, к.т.н., В.Ю. Балюк, аспирант, Житомирский государственный технологический университет

Аннотация. Разработан способ определения гидравлического сопротивления пористого материала фильтрующего элемента фильтра отработавших газов автомобиля.

Ключевые слова: пористость, фильтр, моделирование.

DETERMINING OF HYDRAULIC RESISTANCE OF POROUS MATERIAL FILTER ELEMENT OF THE EXHAUST GASES' FILTER

**A. Pchenko, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
V Baluk, postgraduate, Zhytomyr State Technological Universitet**

Abstract. The method for determining the hydraulic resistance of porous material filter element of the filter of the automobile's exhaust gases was developed.

Key words: porosity, filter, simulation.

Вступ

На сьогодні розроблено велику кількість касетних каталітичних нейтралізаторів і сажових фільтрів із фільтруючими елементами, що виготовляються з пористих матеріалів. При цьому виникла необхідність вивчення впливу пористості матеріалів, використаних для виготовлення фільтрів, оскільки це – один з основних параметрів, що впливає на гідравлічний опір (ГО) матеріалу, тонкість і повноту фільтрації. Авторами запропоновано спосіб визначення ГО матеріалу елемента, що фільтрує відпрацьовані гази (ВГ), у фільтрі відкритого типу.

Аналіз публікацій

Виконуючи свої функції з очищення ВГ від твердих часток (ТЧ), фільтри створюють незначні протитиски, які, у свою чергу, впливають на пропускну здатність, а також потужність і годинну витрату палива дизелем. У процесі осадження на поверхні пористого фільтра й проникнення в пори ТЧ зростає опір руху ВГ. Для пористих паперових і тканинних фільтрів очищення повітря від пилу запропоновано вираз для визначення ГО, що за аналогією в першому наближенні можна використати і для інших пористих матеріалів [1, 2]

$$\Delta P = \frac{8012\mu_{\text{вг}}v_{\text{вг}}(1-n_{\text{тч}})}{d_{\text{тч}}^2n_{\text{тч}}} \times \left(0,82 \cdot 10^6 d_{\text{тч}}^{0,25} n_{\text{фм}} (1-n_{\text{тч}})^{\frac{2}{3}} \times n_0 + 3600v_{\text{вг}}t_p K_d / \rho_{\text{тч}} \right), \quad (1)$$

де $\mu_{\text{вг}}$ – динамічна в’язкість ВГ, Па·с; $v_{\text{вг}}$ – середня швидкість ВГ, м/с; $d_{\text{тч}}$ – середній діаметр ТЧ, м; $n_{\text{тч}}$ – пористість ТЧ; $n_{\text{фм}}$ – пористість фільтруючого матеріалу; t_p – час між регенераціями фільтра, с; n_0 – число ТЧ у 1 м³ газу; K_d – показник димності ВГ за оптичним димоміром; $\rho_{\text{тч}}$ – густина твердих частинок, кг/м³.

Сумарний протитиск, створюваний фільтром ТЧ, можна представити як суму протитисків, створюваних окремими ступенями очищення

$$\Delta P + \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \dots + \Delta P_J. \quad (2)$$

При розрахунку фільтра ТЧ із блоками з пористих матеріалів в [2] пропонується використати показник питомого газового навантаження. Об’ємна витрата газів з урахуванням особливостей навантаження й умов згоряння в дизелі визначається за виразом

$$V_{\text{вг}} = 4,148 \cdot 10^{-3} (G_T T_K / P_K) \times (\alpha + 0,0675), \quad (3)$$

де G_T – годинна витрата палива, кг/год; T_K – температура повітря після компресора, °К; P_K – тиск після компресора, МПа; α – коефіцієнт надлишку повітря.

Виходячи з того, що для більш повного поглинання фільтрами ТЧ необхідний час перебування газів у пористій стінці не менш $t_n = 4,6 \cdot 10^{-2}$ с, визначають об’ємну швидкість, що має зв’язок із часом перебування в пористій стінці, як $\omega_0 = 3600/t_n$. З умови відомої об’ємної швидкості визначається обсяг пористої маси

$$V_{\text{пм}} = \frac{V_{\text{вг}} \tau_n}{3600}. \quad (4)$$

В.І. Волков при визначенні критичних чисел Рейнольдса, починаючи з яких рух газів у порах пористих структур стає турбулентним незалежно від прохідного перетину, та при

виявленні складових пульсацій швидкості, що приводять до квадратичної залежності опору на випуску від числа Рейнольдса, визначив положення, що дає змогу обчислити повний перепад тиску за товщиною пористої стінки. При цьому вважають, що розгляд газодинаміки всередині пористої стінки базується на двох моделях: законі Дарсі за низьких чисел Рейнольдса і двочленному рівнянні Ергана – за високих чисел Рейнольдса, що зв’язують ΔP із середньовитратною швидкістю усередині пористого шару [1]

$$\Delta P / \delta_{\text{ст}} = \frac{1471\mu_{\text{вг}}\bar{v}_{\text{вг}}(1-n_{\text{фм}})^2}{n_{\text{фм}}^3 d_k} + \frac{1,75\rho_{\text{вг}}v_{\text{дв}}^2(1-n_{\text{фм}})}{n_{\text{фм}}^3 d_{\text{тч}}}, \quad (5)$$

де $\Delta P/\delta_{\text{ст}}$ – повний перепад тиску на товщині стінки $\delta_{\text{ст}}$; $\bar{v}_{\text{вг}}$, $\rho_{\text{ог}}$, $\mu_{\text{ог}}$ – відповідно витратна швидкість газу в порі, м/с, густина, кг/м³, і динамічна в’язкість газів, Па·с; $n_{\text{фм}}$ – пористість фільтруючого матеріалу; d_k – діаметр ТЧ, м.

З рівняння (5) видно, що перепад тиску на пористому фільтруючому елементі оберненопропорційно залежить від пористості самого елемента.

Мета та постановка задачі

Як видно з наведених вище фактів, одним з основних факторів, що впливають на ГО сажового фільтра, є пористість фільтруючого елемента. Тому при розробці нових конструкцій фільтрів із пористими фільтруючими елементами обов’язково потрібно її враховувати. Відомо, що навіть за зовнішньої схожості пористих матеріалів їх властивості дуже різняться і визначаються окремо для кожного з них. До недавня це здійснювалося винятково за допомогою фізичного експерименту і складного математичного аналізу після нього, але з розвитком сучасних технологій став можливим інший спосіб вирішення даного завдання – комп’ютерне моделювання, покликане значно прискорити процес розрахунку даного показника. На сьогодні скорочення витрат часу на проведення проектних розрахунків при розробці нової техніки є одним з найбільш актуальних завдань.

Розробки методу визначення ГО пористого матеріалу

Для розробки методу визначення ГО пористого матеріалу фільтруючого елемента каталітичного фільтра було взято методику визначення ГО пористого матеріалу, описану у [3]. У даній методиці визначення властивостей пористого каталітичного фільтруючого матеріалу проводилося в такій послідовності:

1. Побудовано експериментальну установку, що складається з дизельного ДВЗ, трубопроводів, каталітичного пористого блоку, вкладеного в корпусі, витяжної системи.
2. Проведено виміри тиску ВГ до каталітичного пористого блоку й після нього.
3. Створено і прораховано математичну модель використаного пористого матеріалу.
4. Побудовано комп'ютерну кінцево-об'ємну модель фільтра.
5. Задано властивості каталітичного блоку і граничні умови (параметри ВГ при вході у фільтр й параметри відкритої границі – виходу з фільтра).
6. Проведено комп'ютерне моделювання фізичного експерименту.
7. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів фізичного експерименту й комп'ютерного моделювання.

Для визначення ГО каталітичних фільтруючих елементів фільтрів ВГ відкритого типу авторами пропонується методика, подібна до вищеописаної, за винятком п. 3. Припущено, що заміна математичної моделі перепаду ти-

ску в пористому фільтруючому матеріалі комп'ютерною твердотілою моделлю, що більш повно описує геометрію і процеси, які протікають у ньому, призведе до більш точного та швидкого визначення необхідних властивостей.

Експериментальна установка, що використовувалась при проведенні дослідження, складалась з:

- 1) каталітичного нейтралізатора ВГ автомобіля IVECO DAILY;
- 2) манометра МПЗ-У ($0 \div 2,5$ кгс/см²) ТУ 25-02.180335-84;
- 3) муфти-перехідника між генератором ВГ і фільтром;
- 4) манометра МТ-ТЗ ($0 \div 1,6$ кгс/см²) ТУ 25-02.180335-84;
- 5) корпуса для кріплення манометра на вихідному кінці фільтра.

Оскільки ні в математичній, ні в комп'ютерній моделі зміна гідравлічного опору при фільтрації ТЧ не враховувалась, генератором ВГ було обрано автомобіль ЗАЗ Славута з двигуном об'ємом 1,2 л. Експериментальна установка була приєднана до вихідного кінця вихлопної труби автомобіля й жорстко закріплена на спеціальному підрамнику. Умови випробувань: температура навколишнього середовища $T_0 = 295\text{--}302$ °К; атмосферний тиск $P_0 = 756\text{--}758$ мм рт. ст.; вологість повітря $W_0 = 70\text{--}75\%$. Виміри проводилися при фіксованих обертах колінчастого вала двигуна: 1500; 2000; 2500 об/хв.

Таблиця 1 Показники основних параметрів, визначених експериментально, шляхом аналітичних розрахунків та за результатами комп'ютерного моделювання

Оберти двигуна, об./хв	Метод отримання результату	Середній тиск ВГ у вхідній трубці експериментальної установки, МПа	Середній тиск ВГ у вихідній трубці експериментальної установки, МПа	Середня швидкість ВГ при проходженні через фільтруючий елемент, м/с
1500	Експеримент/розрахунки	0,119	0,116	1,600
	Моделювання	0,118	0,118	1,566
2000	Експеримент/розрахунки	0,132	0,127	2,171
	Моделювання	0,136	0,129	2,193
2500	Експеримент/розрахунки	0,147	0,137	2,565
	Моделювання	0,148	0,139	2,583

Основною задачею експерименту були вимір за допомогою манометрів тиску ВГ при вході у фільтр і при виході з неї, вимір температури ВГ при вході у фільтр за допомогою цифрового термометра М890D ГОСТ Р 8.625-2006. Показники температури використовувались при аналітичних розрахунках об'ємної витрати ВГ.

Перевірка достовірності отриманих результатів показала, що величина абсолютної похибки при вимірах становила до 5 %.

Для повноти завдання умов для комп'ютерного моделювання було проведено розрахунки стану ВГ на вході в пористий проникний фільтр за методикою, викладеною в [2].

Як видно з табл. 1, збіжність результатів, отриманих при проведенні експерименту, аналітичних розрахунків та отриманих за результатами комп'ютерного моделювання, є задовільною. Останнє дозволяє з упевненістю сказати, що рішення поставленої задачі було отримане із задовільними показниками достовірності, та визначення показника ГО може виконуватись шляхом комп'ютерного моделювання без проведення фізичного експерименту.

Висновки

1. Підтверджено, що перепад тиску на пористому фільтруючому елементі оберненопорційно залежить від пористості самого елемента.

Запропоновано метод визначення ГО пористого матеріалу фільтруючого елемента каталітичного фільтра відкритого типу.

Приведено результати експериментальних досліджень, аналітичного розрахунку та комп'ютерного моделювання процесу визначення ГО пористого матеріалу фільтруючого елемента каталітичного фільтра відкритого типу автомобіля IVECO DAILY.

Література

1. Фукс Н.А. Механика аэрозолей / Н.А. Фукс. – М. : АН СССР, 1956. – 352 с.
2. Евстигнеев В.В. Моделирование процессов очистки отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов от твердых частиц СВС-фильтрами / В.В. Евстигнеев, А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 1. – С. 138–143.
3. Газодинамический анализ системы обработки отработавших газов [электронный ресурс] / Режим доступа : http://www.autoengineer.org/66/4_7.pdf

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 26 травня 2011 р.