

УДК 53.072.127

А. В. ІЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. ЖДТУ, Житомир
В. Ю. БАЛЮК, аспірант ЖДТУ;
Ю. В. ТРОСТЕНЮК, аспірант ЖДТУ

ОЦІНКА СПОСОБУ УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРА-НЕЙТРАЛІЗАТОРА ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ

Проведено газодинамічний аналіз прототипу системи очищення відпрацьованих газів дизельного двигуна внутрішнього згорання, визначено оптимальну конструкцію завихрувача фільтра-нейтралізатора відпрацьованих газів дизеля.

Ключові слова: відпрацьовані гази, фільтр-нейтралізатор, завихрувач, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Очищення відпрацьованих газів (ВГ), у тому числі від часток сажі, дизельних двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) автомобілів є однією з найважливіших екологічних проблем і складним технічним завданням, розв'язок якої залежить від різних факторів. Для оптимізації конструкції, урахування різних факторів і виключення їх впливу на отримані результати на стадії натурних випробувань, потрібно до їх виготовлення провести аналітичний аналіз роботи розроблювальної системи. Для розв'язку даного завдання сьогодні в руках наукових і інженерних співробітників є ряд комплексів для комп'ютерного моделювання різних процесів, у тому числі й таких, як моделювання потоку рідини або газу. У статті розглянута модель процесу фільтрації в розроблювальній системі очищення ВГ з використанням пористих матеріалів та з використанням завихрувача для більш рівномірного розподілу ВГ по площі поперечного перерізу фільтруючого елемента.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел [1-3] показав, що для підвищення якості очищення та збільшення строку служби фільтрів-нейтралізаторів дизелів до їх технічного обслуговування широко використовуються різного роду завихрувачі потоку ВГ. Основною задачею даного елемента є рівномірний розподіл ВГ на фільтруючі поверхні пористого матеріалу, що має також знизити протитиск у випускній системі. На відміну від [2-3], де тільки вказується на використання завихрувача, у [1] його конструкція дуже ретельно описана та представлена на ілюстрації. Виходячи з цього, для проведення дослідження за основу для прототипу була взята конструкція фільтра-нейтралізатора описана саме в [1].

Постановка задачі. Провести моделювання роботи прототипу системи очищення ВГ для автомобіля з дизельним ДВЗ в CFD-Комплексі COSMOSFloWorks, визначити параметри його роботи при різних варіантах конструкції завихрувача, знайти оптимальну конструкцію завихрувача, зробити висновки щодо подальшого удосконалення фільтра-нейтралізатора ВГ із завихрувачем.

Матеріали та результати дослідження. За основу конструкції прототипу було взято існуючий фільтр-нейтралізатор, який використовується на багатьох сучасних автомобілях з дизельними ДВЗ, зокрема таких, як FIAT DOBLO, VOLKSWAGEN CADDY тощо. Основними параметрами для дослідження було обрано рівномірність розподілу ВГ по площині поперечного перерізу фільтра безпосередньо перед входом у фільтруючий елемент та загальний гідравлічний опір фільтра-нейтралізатора при різних варіантах конструкції завихрувача. Для визначення цих параметрів було прийняте рішення провести газодинамічний аналіз роботи фільтра-нейтралізатора,

© А. В. Ільченко, В. Ю. Балюк, Ю. В. Тростенюк, 2013

тобто розрахувати фізичні процеси, які відбуваються під час його роботи та шляхом внесення змін у конструкцію оптимізувати їхнє протікання.

Щоб розрахувати зміну фізичних параметрів фільтра у просторі та часі, спочатку треба їх математично змодельовати. Оскільки фізичні процеси – результат дії законів фізики, то найбільш адекватні фізичним процесам математичні моделі являють собою систему диференціальних і/або інтегральних рівнянь, що описують закони фізики, із граничними й початковими умовами, що прив'язують дану математичну модель до поставленої конкретної фізичної задачі, тобто визначаючими дані фізичні процеси в цій задачі. На рис. 1 представлена розрахункова модель прототипу системи очищення ВГ автомобіля з дизельним ДВЗ з відображеними граничними й початковими умовами. Додатково слід зазначити такі умови:

- параметри матеріалу корпусу та завихрувача відповідають нержавіючій сталі, та взяті з інженерної бази, вбудованої в COSMOSFloWorks;
- параметри ВГ відповідають описаним в [4-5];
- параметри пористості фільтрувального елемента визначені згідно [6].

Оскільки системи диференціальних і/або інтегральних рівнянь, що використано в моделі, звичайно не мають аналітичного розв'язку, вони приводяться до дискретного виду та вирішуються на деякій розрахунковій прямокутній сітці, яка розрізняє області нелінійної поведінки розв'язку даних рівнянь. Саме така методика використовується COSMOSFloWorks [7].

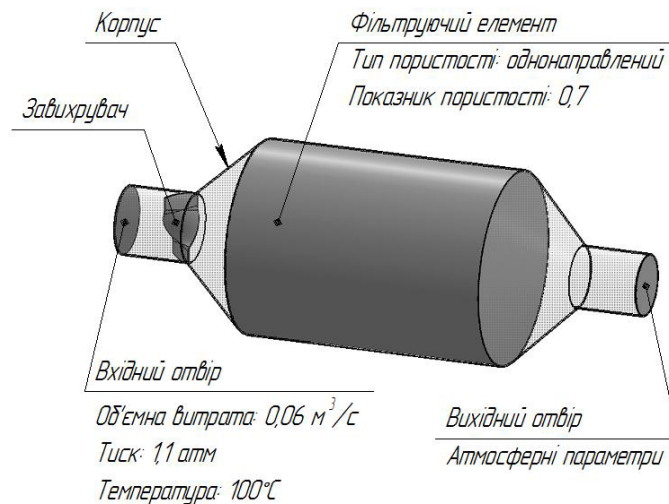


Рисунок 1 – Розрахункова модель прототипу системи очищення ВГ для автомобіля з дизельним ДВЗ в CFD-Комплексі COSMOSFloWorks

В COSMOSFloWorks ВГ представляються як текуче середовище, рух і теплообмін якого моделюються за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які описують у нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії цього середовища. Крім того, використовуються рівняння стану компонентів текучого середовища, а також емпіричні залежності в'язкості й теплопровідності цих компонентів середовища від температури. Для моделювання турбулентного протікання ВГ згадані рівняння Нав'є-Стокса в COSMOSFloWorks осереднюються по Рейнольдсу, тобто використовується осереднене по малому масштабу часу вплив турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні тимчасові зміни осереднених по малому масштабу часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкостей,

температури) враховуються введенням відповідних похідних за часом. У результаті рівняння мають додаткові члени – напруги по Рейнольдсу, а для замикання цієї системи рівнянь в COSMOSFloWorks використовуються рівняння переносу кінетичної енергії турбулентності і її дисипації в рамках $k-\varepsilon$ моделі турбулентності.

Згідно [1] завихрувач являє собою вигнуту по гвинтовій лінії пластину. Для дослідження було вибрано 3 основні геометричні параметри конструкції завихрувача: висота гвинтової частини – A , мм; ширина пластини – B , мм; кут загвинчування – Δ , град. Дані параметри зображено на схемі, яка представлена на рис. 2. В таблиці 1 представлено значення змінних геометричних параметрів для складання конфігурацій конструкції завихрувача.

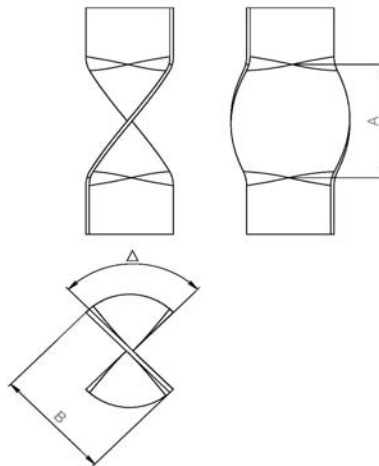


Рисунок 2 – Схема завихрувача зі змінними геометричними параметрами

Таблиця 1 – Значення змінних геометричних параметрів для складання конфігурацій конструкції завихрувача

ЗМІННИЙ ПАРАМЕТР, ОД. ВИМІР.	ЗНАЧЕННЯ ЗМІННОГО ПАРАМЕТРУ	ЗНАЧЕННЯ ІНШИХ ПАРАМЕТРІВ
A , мм	10	$B = 25$ мм $\Delta = 90^\circ$
	20	
	25	
	30	
	40	
B , мм	10	$A = 25$ мм $\Delta = 90^\circ$
	20	
	25	
	30	
	40	
Δ , град	36	$A = 25$ мм $B = 25$ мм
	54	
	72	
	90	
	108	

Оцінка способу удосконалення фільтра-нейтралізатора виконувалася за наступною методикою:

1. Після проведення моделювання роботи прототипу системи очищення ВГ для кожної конфігурації конструкції було отримано зображення полів проекцій швидкостей на поздовжню вісь в площині поперечного перерізу на відстані 5 мм до фільтрувального елемента. Всі значення було розбито на 10 діапазонів. 1-ий діапазон відповідав всім від'ємним значенням швидкості. Інші 9 діапазонів розбивали загальний діапазон значень на рівні частини. На рис. 3 представлено одне з отриманих зображень.
2. Визначено площі кожного з полів на кожному із зображень.
3. Отримані значення площ занесені до протоколу.
4. Проведено аналітичний аналіз отриманих значень. Визначено, що при всіх конфігураціях конструкції завихрувача та без нього спостерігається зворотній потік ВГ у фільтрувальному елементі. Тому за основні параметри для визначення оцінки способу удосконалення фільтра-нейтралізатора було взято значення сумарної площі полів швидкостей з прямим напрямком та загальний гідравлічний опір.
5. Складено порівняльна таблиця основних параметрів для визначення оцінки способу удосконалення фільтра-нейтралізатора (табл. 2), побудовані графіки залежностей параметри для визначення оцінки способу удосконалення фільтра-нейтралізатора від значень змінних параметрів конструкції завихрувача (рис. 4 та 5).
6. Зроблено висновки з аналізу порівняльної таблиці.

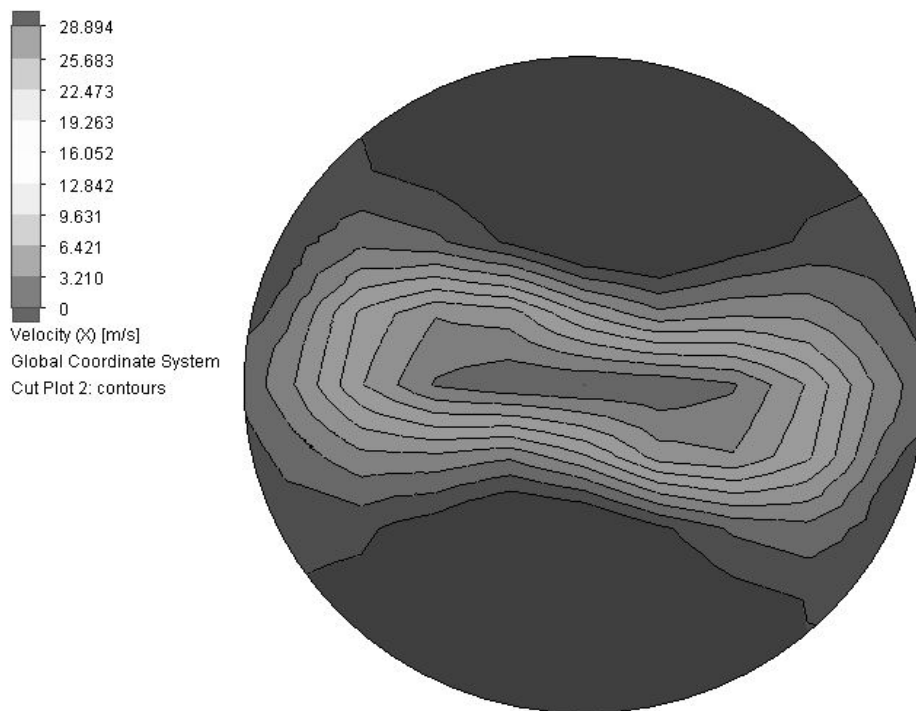


Рисунок 3 – Поля проекцій швидкостей на поздовжню вісь в площині поперечного перерізу на відстані 5 мм до фільтрувального елемента при параметрах завихрувача:
 $A = 25$ мм; $B = 25$ мм; $\Delta = 90^\circ$

Таблиця 2 – Основні параметри для оцінки способу удосконалення фільтра-нейтралізатора

ЗНАЧЕННЯ ЗМІННОГО ПАРАМЕТРУ ЗАВИХРУВАЧА	ВІДСОТКОВА ЧАСТИНА СУМАРНОЇ ПЛОЩІ ПОЛІВ ШВИДКОСТЕЙ З ПРЯМИМ НАПРЯМКОМ, %	ЗАГАЛЬНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР ФІЛЬТРА НЕЙТРАЛІЗАТОРА, ПА
A = 10 мм	59	1513
A = 20 мм	59	1379
A = 25 мм	58	1331
A = 30 мм	59	1245
A = 40 мм	60	1146
B = 10 мм	58	954
B = 20 мм	58	1235
B = 25 мм	57	1366
B = 30 мм	56	1435
B = 40 мм	55	1333
$\Delta = 36^\circ$	67	853
$\Delta = 54^\circ$	64	1025
$\Delta = 72^\circ$	61	1177
$\Delta = 90^\circ$	59	1330
$\Delta = 108^\circ$	57	1595
Без завихрувача	46	591

Проаналізувавши, представлені вище результати, можна дійти висновку, що оптимальною конфігурацією завихрувача, який описано в [1], для удосконалення фільтра-нейтралізатора, який використовується на багатьох сучасних автомобілях з дизельним ДВЗ, є конфігурація з такими параметрами $A = 25$ мм, $B = 25$ мм та $\Delta = 36^\circ$. При застосуванні завихрувача даної конфігурації площа розподілу ВГ збільшується на 45,7% при збільшенні гідравлічного опору на 262 Па відносно показників фільтра-нейтралізатора без завихрувача. Підводячи підсумки аналізу отриманих результатів дослідження, можна сказати, що застосування завихрувача дає змогу значно покращити показники очистки ВГ у фільтрах, які використовуються на багатьох сучасних автомобілях з дизельними ДВЗ.

Висновки. 1. Проведено аналіз літературних джерел, в яких описується удосконалення фільтрів-нейтралізаторів ВГ дизелів шляхом розподілу потоку ВГ по площі фільтрувального елемента.

2. Описано розрахункову модель прототипу системи очищення ВГ автомобіля з дизельним ДВЗ з відображеними граничними й початковими умовами, створену у CFD-комплексі COSMOSFloWorks.

3. Описано методику, за якою проводилося дослідження.

4. Представлено результати комп'ютерного моделювання.

5. Проаналізовано результати дослідження.

6. Доведено раціональність застосування завихрувача у фільтрах, які використовуються на багатьох сучасних автомобілях з дизельними ДВЗ.

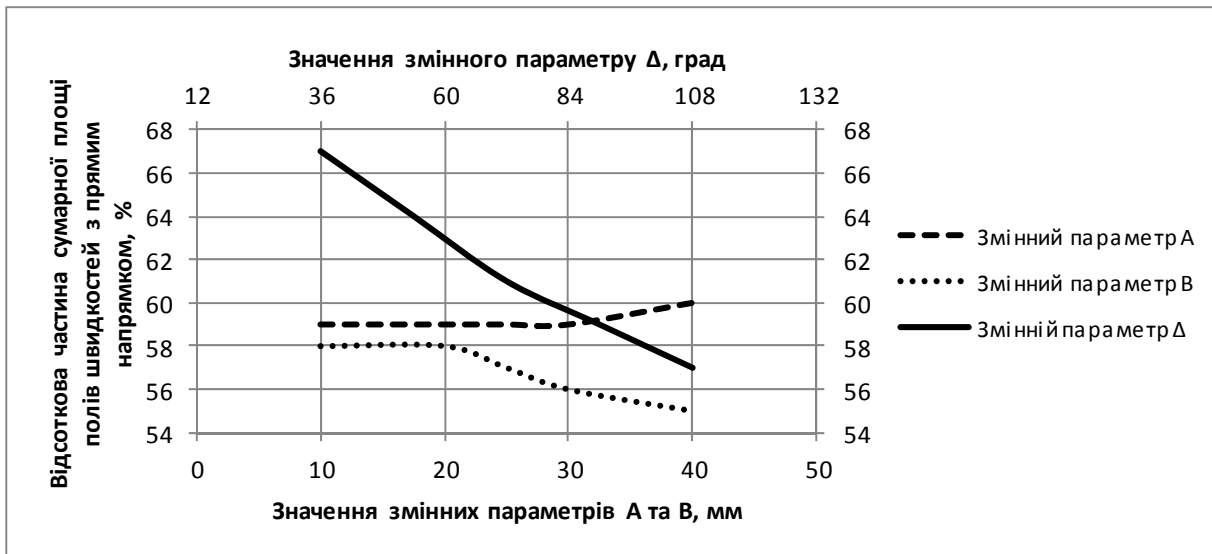


Рисунок 4 – Залежність відсоткової частини сумарної площі полів швидкостей з прямим напрямком від значень змінних параметрів конструкції завихрувача

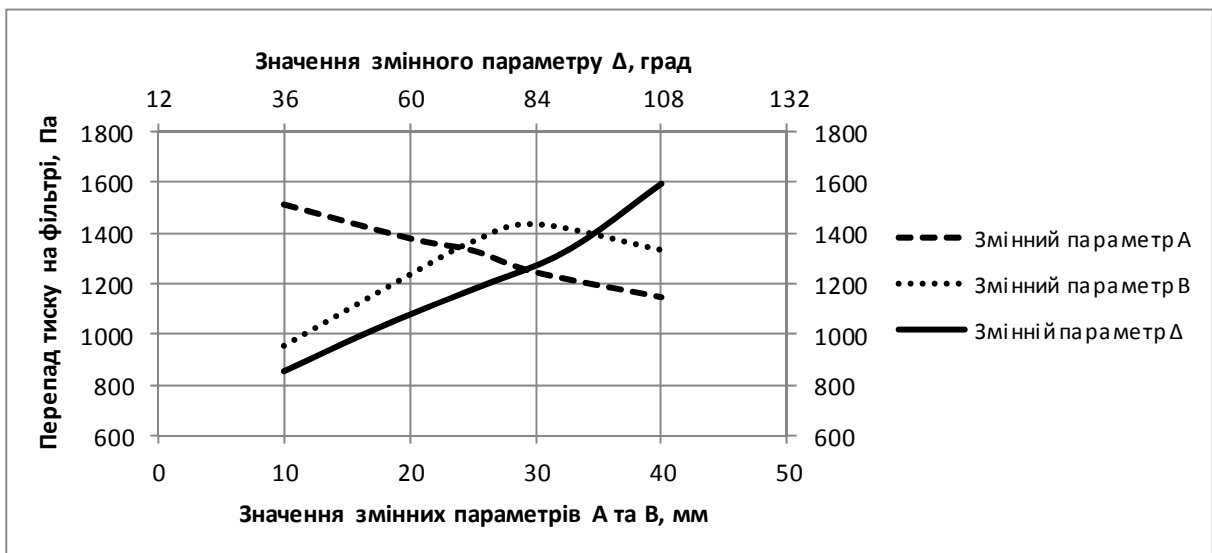


Рисунок 5 – Залежність перепаду тиску на фільтрі від значень змінних параметрів конструкції завихрувача

Список літератури: 1. Нейтрализатор отработавших газов для дизеля : пат. 2280177 Рос. Федерація : МПК F01N3/035 / *Поливаев О.И., Байбарин В.А., Божко А.В., Можейко А.В.* ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежский государственный аграрный университет имени К.Д. Глинки" – 2005105377/06 ; заявл. 24.02.2005 ; опубл. 20.07.2006 – 4 с. : ил. 2. Нейтрализатор отработавших газов : пат. 2175391 Рос. Федерація : МПК F01N3/02 / *Гордивский В.Н., Шестаков С.В., Залюбовский А.Ф., Медведев Ю.С.* ; заявитель и патентообладатель Военный автомобильный институт – 2000100245/06 ; заявл. 05.01.2000 ; опубл. 27.10.2001 – 3 с. :

ил. 3. Нейтрализатор отработавших газов : пат. 2433285 Рос. Федерация : МПК F01N3/02 / Носырев Д.Я., Плетнев А.И. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный университет путей сообщения" – 2010105462/06 ; заявл. 15.02.2010 ; опубл. 27.03.2011 – 3 с. : ил. 4. Носырев Д. Я., Просвилов Ю. Е., Росляков А. Д., Фролов С. Г. Методические указания к выполнению курсовой работы №1 по дисциплине "Локомотивы (общий курс)." – Самара : СамИИТ, 2001. – 24 с. 5. Евстигнеев В.В. Моделирование процессов очистки отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов от твердых частиц СВС-фильтрами / Евстигнеев В.В., Новоселов А.Л., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. №1 – С. 138-143. 6. Ильченко А.В. Спосіб визначення гідравлічного опору пористого матеріалу фільтруючого елемента фільтра відпрацьованих газів / А.В. Ильченко, В.Ю. Балюк // Автомобильный транспорт. – 2011. – Вып. 29. – С. 148–151. 7. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

Надійшла до редколегії 08.05.2013

УДК 53.072.127

Оцінка способу удосконалення фільтра-нейтрализатора відпрацьованих газів дизеля / Балюк В.Ю., Тростенюк Ю.В., Ильченко А.В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 79–85. – Бібліогр.: 7 назв.

Проведено газодинамічний аналіз прототипа системи очистки отработавших газов дизельного двигателя внутреннего сгорания, определено оптимальную конструкцию завихрителя фильтра-нейтрализатора отработавших газов дизеля.

Ключевые слова: отработавшие газы, фильтр-нейтрализатор, завихритель, компьютерное моделирование.

A gas-dynamic analysis of the prototype of cleaning system of exhaust gases of engine was made. The optimum design of the swirler of neutralizer filter of the diesel exhaust gases was determine.

Keyword: exhaust gases, filter-neutralizer, swirl, computer simulation.