

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІДКЛАДАННЯ САЖІ У ФІЛЬТРИ
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЯ**

Проведено аналіз існуючої математичної моделі відкладання сажі на поверхні осадження, зроблено пропозиції щодо її вдосконалення та застосування для описання процесу фільтрації газів у фільтрах з пористим фільтруючим елементом.

Вступ. До двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) висувається ряд вимог, які в остаточному підсумку спрямовані на забезпечення високих їхніх якостей і конкурентноздатності на світовому ринку. Причому, в останні десятиліття, через погіршення екологічної обстановки, у всіх розвинених країнах зросли вимоги до рівнів шкідливих викидів ДВЗ з відпрацьованими газами (ВГ) у навколишнє середовище.

У навколишнє середовище із ВГ ДВЗ надходить до 40 % шкідливих речовин від викинутих усіма джерелами забруднення, у тому числі: до 34 % від загальних викидів оксиду вуглецю (СО), до 64 % – оксидів азоту (NOx) і до 34 % – твердих часток (ТЧ), включаючи сажу [1].

Викиди ТЧ в основному належать до дизелів. Закономірності утворення й вигорання сажі в циліндрах дизелів вивчалися багатьма дослідниками [2, 3, 4].

У той же час залишився практично не розглянутим процес відкладання сажі у випускному тракті двигуна автомобіля і, зокрема, у фільтрах ВГ. Основним завданням даного дослідження буде розробка математичної моделі відкладення частинки сажі (ЧС) на поверхні фільтруючого матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі основні 3 механізми осадження часток сажі (ЧС) на одиничному волокні фільтруючого матеріалу: перехоплення, інерційне зіткнення, броунівська дифузія. Схема даних механізмів представлена на рисунку 1.

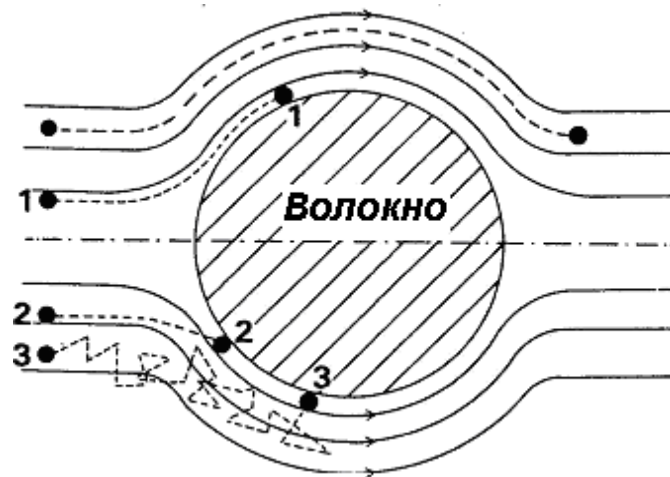


Рис. 1. Основні механізми осадження ЧС на одиничному волокні фільтруючого матеріалу [5]:
1 – перехоплення; 2 – інерційне зіткнення; 3 – броунівська дифузія

Як видно із представленої вище схеми, при кожному з механізмів відбувається удар ЧС об волокно фільтруючого матеріалу. Відома математична модель [6], в основі якої покладене судження про збереження енергії при ударі ЧС об стінку випускного тракту – поверхня осадження. При розробці даної математичної моделі авторами була запропонована умова: «...при ударі ЧС із поверхню труби випускного тракту кінетична енергія частки переходить в

енергію її деформації. Якщо зневажити сили тертя в плямі контакту під час деформації частки, у зоні контакту виникають тільки пружні деформації...». Далі йде припущення, що ЧС має круглу форму, а робота сили деформації може бути описана як добуток сили, з якою діє частка, на її зближення з поверхнею осадження. Як висновок зближення ЧС із поверхнею автори описали рівнянням:

$$S = \frac{10^{-2}}{2} \sqrt[3]{9\Theta^2 F^2}, \quad (1)$$

де S – зближення ЧС із поверхнею осадження, мм; Θ – пружна постійна тіл, які взаємодіють, МПа⁻¹; R – середній радіус ЧС, м.

Пружна постійна для зіткнення ЧС із поверхнею осадження знаходиться за формулою:

$$\Theta = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (2)$$

де μ_1 та μ_2 – коефіцієнти Пуассона відповідно сажі й матеріалу поверхні осадження; E_1 й E_2 – модулі поздовжньої пружності відповідно сажі й поверхні осадження, МПа.

Відповідно до класифікації представленої в [7], описаний вище удар буде абсолютно пружним. При такому ударі кінетична енергія на першій фазі процесу переходить повністю або частково в потенційну енергію деформації, яка потім знову переходить у кінетичну енергію. Виходячи із закону збереження енергії в цьому випадку, якщо маса одного з тіл, що перебуває в спокої, набагато більша за масу іншого, то нерухоме велике тіло, що отримало удар, практично залишається в спокої, а мале тіло, що вдарило його, відскочить від нього з початковою за модулем й протилежною за напрямком швидкістю. Тобто ЧС буде повернута в газовий потік і ніякого осадження відбуватися не буде.

Всі інші припущення авторів знайшли своє підтвердження при вивченні літературних джерел.

Постановка завдання. Провести аналіз існуючої моделі відкладання сажі у випускному тракті двигуна автомобіля, установити можливість її використання для опису процесу осадження сажі на волокнах фільтра ВГ, зробити пропозиції щодо її вдосконалення.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для більш детального вивчення процесу удару кулястої ЧС о поверхню осадження та вдосконалення математичної моделі було вирішено проведення дослідження моделювання даного процесу в програмному комплексі ANSYS. При цьому були прийняті такі умови та спрощення:

- 1) ЧС замінюється на кулясте тіло з діаметром 5 мм;
- 2) поверхня осадження є пластина з розмірами 50x50x25 мм;
- 3) всі грані пластини жорстко закріплені, крім грані, на якій відбувається удар – поверхня осадження;
- 4) у початковий момент моделювання між тілами є зазор 0,2 мм для адекватності розбивки їх розрахунковою сіткою;
- 5) кулясте тіло рухається нормально до поверхні осадження зі швидкістю $10 \cdot 10^3$, $30 \cdot 10^3$, $50 \cdot 10^3$, $70 \cdot 10^3$ і $90 \cdot 10^3$ мм/с;
- 6) матеріал тіл описується як ізотропно еластичний з автоматичним обчисленням параметрів залежно від модуля Юнга;
- 7) модуль Юнга для визначення параметрів матеріалу тіл має значення: $4 \cdot 10^{10}$, $8 \cdot 10^{10}$, $1,2 \cdot 10^{11}$, $1,6 \cdot 10^{11}$, $2 \cdot 10^{11}$, $2,4 \cdot 10^{11}$, $2,8 \cdot 10^{11}$, $3,2 \cdot 10^{11}$, $3,6 \cdot 10^{11}$ МПа.

Основним параметром для дослідження було максимальне зближення кулястого тіла з поверхнею осадження при всіх можливих комбінаціях початкових умов. У результаті моделювання був отриманий масив даних для 405 різних ситуацій удару описаних вище тіл. При аналітичній обробці отриманих результатів було встановлено, що залежність зближення від пластичних властивостей матеріалів кулі й поверхні осадження, можна описати кубічною залежністю. Також встановлено, що на зближення більшою мірою впливають властивості матеріалу поверхні осадження. Дані судження підтверджуються графіком, який представлений на рисунку 2, де відображені залежності зближення кулі з поверхнею від модуля Юнга матеріалів. Звідси можна судити, що одним з основних параметрів при проектуванні фільтра ВГ є матеріал пористого елемента, де будуть затримуватися ЧС.

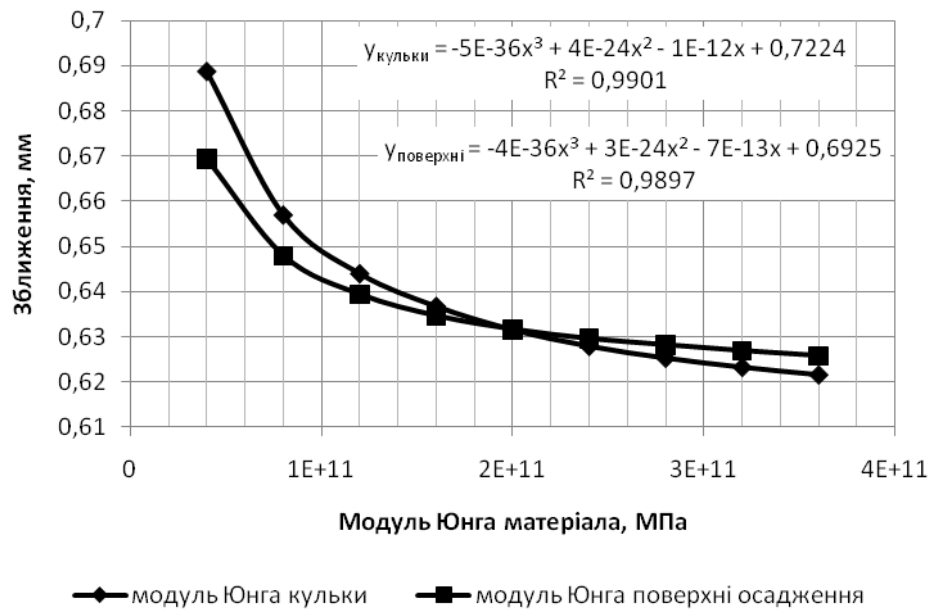


Рис. 2. Залежність зближення від пластичних властивостей матеріалів кулястого тіла та поверхні осадження

Оскільки у розробленій моделі було зроблено ряд спрощень, то у результаті кулясте тіло після удару у всіх ситуаціях, які моделювалися, рухалося в напрямку зворотному вектору початкової швидкості. Для подальшого вивчення питання при моделюванні будуть враховані такі параметри:

- 1) дотримано реальні розміри тіл;
- 2) дотримано реальні пластичні властивості сажі й поверхні осадження;
- 3) враховано шорсткість поверхонь;
- 4) вектор початкової швидкості ЧС буде мати довільний кут щодо поверхні осадження.

Висновки:

1. Розглянуто механізми вловлювання ЧС на одиничному волокні фільтра.
2. Описано й проаналізована існуюча математична модель осадження ЧС на поверхню осадження.
3. Проведено моделювання для вивчення процесу удару кулястого тіла об поверхню при різних початкових умовах.
4. Проведено аналіз результатів, отриманих шляхом моделювання.

Список використаної літератури:

1. Чернецов Д.А. Токсичность отработавших газов дизелей и их антропогенное воздействие / Д.А. Чернецов // Вопросы современной науки и практики. – 2010. – № 10–12 (31). – С. 54–59.
2. Махов В.З. Оптический метод определения локального сажевого содержания в камере сгорания дизеля / В.З. Махов, В.П. Терентьев // Токсичность ДВС. – М. : ВЗМИ, 1977. – С. 66–67.
3. Батулин С.А. Сажевыделение в цилиндрах двигателей и дымность отработавших газов / С.А. Батулин, Н.Х. Дьяченко, В.Н. Ложкин // Рациональное использование природы, ресурсов и охраны окружающей среды. – Л. : ЛПИ, 1977. – С. 42–48.
4. Баранов Н.А. Экспериментальное исследование механизма образования дизельной сажи / Н.А. Баранов, Е.В. Королев // Труды ЦНИДИ. – Л., 1983. – С. 43–145.
5. Oh S.H. Mathematical modeling of fibrous filters for diesel particulates – theory and experiment / S.H. Oh et al. // SAE Technical paper series 810113. – 1981. – Pp. 1–12.
6. Льченко А.В. Математична модель відкладання сажі у випускному тракті двигуна автомобіля / А.В. Льченко, В.П. Кур'ята // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3 (38). – С. 20–24.
7. Методические указания к лабораторной работе М-31 по курсу общей физики : учеб. пособие / В.И. Васюков, А.М. Кириллов, М.Б. Челноков, Н.А. Гладков // Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. – М., 1992. – 9 с.

БАЛЮК Владислав Юрійович – аспірант кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- програмно-апаратні комплекси для вимірювань;
 - системи автоматизованого проектування;
 - підвищення показників екологічної безпеки автомобіля.
- E-mail: mailbv@gmail.com

ІЛЬЧЕНКО Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічна безпека автомобіля;
- використання альтернативних видів енергії на транспорті.

E-mail: avi_7@rambler.ru

ТРОСТЕНЮК Юрій Валерійович – інженер кафедри автомобілів та механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- процеси, які відбуваються у сажових фільтрах;
- підвищення ефективності сажових фільтрів дизелів.

Стаття надійшла до редакції 03.09.2012

Балюк В.Ю., Ильченко А.В., Тростенюк Ю.В. Розробка математичної моделі відкладання сажі у фільтрі відпрацьованих газів автомобіля

Балюк В.Ю., Ильченко А.В. Тростенюк Ю.В. Разработка математической модели отложения сажи в фильтре отработавших газов автомобиля.

Baliuk V.Yu., Pchenko A.V., Trosteniuk Yu. V. Development of a mathematical model of soot's deposition in the filter of automobile's exhaust.

УДК 66.011

Разработка математической модели отложения сажи в фильтре отработавших газов автомобиля / В.Ю. Балюк, А.В. Ильченко, Ю.В. Тростенюк

Проведен анализ существующей математической модели отложения сажи на поверхности осаждения, сделаны предложения по ее усовершенствованию и применению для описания процесса фильтрации газов у фильтрах с пористым фильтрующим элементом.

УДК 66.011

Development of a mathematical model of soot's deposition in the filter of automobile's exhaust / V.Yu. Baluk, A.V. Pchenko, Yu.V. Trosteniuk

The existing mathematical model of soot's deposition on the sedimentation's surface was analyzed, suggestions of its improvement and usage for description of the process of gas filtration in the filters with a porous filter element.