

# МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ОБРОБКИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Представлено метод дослідження акустичних параметрів елементів систем обробки відпрацьованих газів вантажних автомобілів.

**Ключові слова:** акустичні параметри, звуковий тиск, автомобіль, система обробки відпрацьованих газів, модель елемента.

## Abstract

The method of research of acoustic parameters of elements of systems of processing of exhaust gases of trucks is presented.

**Keywords:** acoustic parameters, sound pressure, car, exhaust gas treatment system, element model.

У більшості великих міст з кожним роком спостерігається збільшення парку автомобілів, що призводить до збільшення рівня шуму, в результаті чого відбувається акустичне забруднення середовища проживання людини, і як наслідок погіршення здоров'я і зниження продуктивності праці. Наприклад, у великих містах України рівень шуму міського транспорту складає близько 86 дБА, при санітарній нормі 75 дБА.

Аналіз результатів наукових досліджень показав, що при проектуванні і дослідженні систем обробки відпрацьованих газів доцільно використовувати різні методи зниження шуму, що дозволяють розрахунково-експериментальним способом отримати конструктивні рішення, спрямовані на зниження структурного шуму при забезпеченні вимог щодо токсичності та протитиску.

Для точного математичного розрахунку акустичної поведінки елементів системи обробки відпрацьованих газів необхідно вирішити дифракційну задачу для хвильового рівняння, що описує поширення звуку в газовому середовищі, що заповнює цей елемент при складних граничних умовах. Точні аналітичні методи вирішення цього завдання для загального випадку не розроблені, тому широке застосування отримали методи, які є наближенням в більшій чи меншій мірі в залежності від конкретних умов, а також експериментальні методи [1, 2].

Всі конструкції системи обробки відпрацьованих газів можна розбити з точки зору акустики на обмежений набір елементів, що мають однаковий принцип роботи. Це реактивні елементи, виконані у вигляді систем камер, з'єднаних між собою і з об'ємом газова за допомогою труб, щілин і отворів. А також дисипативні елементи, що містять різні звукопоглинальні матеріали. Всю систему можна розбити на ряд окремих відомих акустичних елементів, певним чином пов'язаних між собою. В результаті теоретичних досліджень для кожного з цього обмеженого ряду елементів виведена математична формула, що описує його акустичні характеристики. Взаємодія кожного цього елемента з сусіднім в системі обробки відпрацьованих газів задається через вхідний і вихідний опір  $Z$  (акустичний імпеданс), який визначається звуковим тиском  $P$  і коливальною швидкістю частинок середовища  $V$ . Зв'язок цих параметрів для кожного елемента визначає таблиця (матриця передачі)  $T$ , яка повністю характеризує акустичну поведінку елемента. У матричному вигляді це співвідношення можна записати:

$$Z_{in} = T Z_{out}, \quad (1)$$

$$Z_{in} = \begin{bmatrix} P_{in} \\ V_{in} \end{bmatrix}; \quad Z_{out} = \begin{bmatrix} P_{out} \\ V_{out} \end{bmatrix}; \quad T = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}$$

або у вигляді рівнянь:

$$P_{in} = T_{11} P_{out} + T_{12} V_{out}; \quad (2)$$

$$V_{in} = T_{21} P_{out} + T_{22} V_{out}. \quad (3)$$

При розрахунку всієї системи використовується метод чотириполюсника, що використовується в теорії еквівалентних ланцюгів електроакустики. Акустичний розрахунок замінюється розрахунком еквівалентних ланцюгів, характеристики яких описуються відомими матрицями передачі [1, 2].

Цей метод успішно використовується при розрахунку простих елементів системи обробки відпрацьованих газів. При ускладненні конструкції точність розрахунків різко падає, так як складно скласти еквівалентний ланцюг, що повністю описує роботу елементів і системи обробки відпрацьованих газів в цілому, складно вивести точну аналітичну формулу для окремого специфічного елемента, складно набрати достатню експериментальну статистику для виведення емпіричної формули. При розрахунку даним методом складно врахувати вплив температури і потоку газів на акустичні параметри.

Від усіх цих недоліків вільний метод кінцево-елементного моделювання. Він дозволяє точно моделювати акустичну поведінку будь-якого за складністю елемента системи обробки відпрацьованих газів і досліджувати вплив геометричних параметрів системи обробки відпрацьованих газів і таких властивостей газового середовища, як щільність, температура і швидкість потоку, на її акустичні параметри.

Метод звичайно-елементного моделювання заснований на представленні досліджуваного елемента системи обробки відпрацьованих газів у вигляді газового обсягу, що заповнює цей елемент і розбитого на безліч дискретних обсягів – кінцевих елементів, апроксимуючих геометричну форму всього елемента. Зв'язок між кінцевими елементами задається у вигляді граничних умов. Розрахункове визначення власних частот і форм коливань, а також передавальних функцій проводиться на основі кінцево-елементного рішення хвильового рівняння Гельмгольца:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Z^2} + \frac{\omega^2}{c^2} \psi = 0 \quad (4)$$

з відповідними граничними умовами на межах розрахункового обсягу, де  $\psi$  (X, Y, Z) - потенціал коливальних швидкостей,  $\omega$  - циклічна частота,  $c$  - швидкість звуку в середовищі. Параметри середовища можуть задаватися у вигляді будь-якого просторового розподілу. Наприклад, зміна температури – у вигляді градієнта між певними поперечними перетинами; наявність поглинаючого матеріалу в якомусь об'ємі – у вигляді заданого значення хвильового числа і щільності, що характеризують цей поглинаючий матеріал, в цьому об'ємі і т.п. [3, 4].

Для рішення рівняння використовується тримірна кінцево-елементна модель елемента системи обробки відпрацьованих газів. На рис. 1 і 2 наведені приклади тримірної і звичайно-елементної моделей циліндричного глушника шуму.

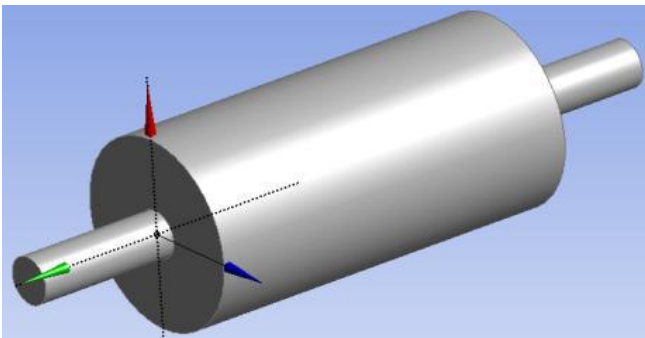


Рис. 1. Тримірна модель елемента системи обробки відпрацьованих газів

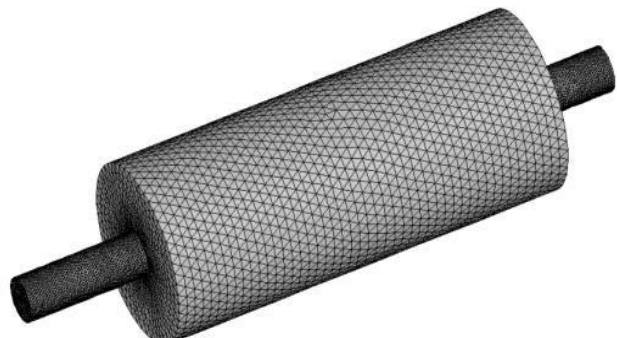


Рис. 2. Тримірна кінцево-елементна модель елемента системи обробки відпрацьованих газів

Можливість точного розрахунку акустичних параметрів елементів системи обробки відпрацьованих газів дозволяє в подальшому розрахувати шум, що випромінюється системою, і провести розрахункову оптимізацію системи обробки відпрацьованих газів з метою виконання різних вимог: виконання компонувальних обмежень без зниження акустичної ефективності, досягнення оптимального співвідношення «ціна-якість» при підготовці виробництва і т.д. Однак, достовірність розрахункових результатів кінцево-елементного моделювання такої складної системи, як система обробки відпрацьованих газів, може бути забезпечена тільки при використанні в розрахункових моделях акустичних характеристик деяких окремих елементів системи обробки відпрацьованих газів і граничних умов, отриманих розрахунково-експериментальним способом на спеціальних установках.

При цьому адекватність розрахункової кінцево-елементної моделі системи обробки відпрацьованих газів повинна бути оцінена розрахунково-експериментально.

Для перевірки точності обчислень із застосуванням кінцево-елементної моделі необхідно провести стендові випробування елементів системи обробки відпрацьованих газів, для яких проводилися розрахунки. У стендових умовах визначається параметр втрати передачі  $T_L$  в робочому діапазоні частот, який потім порівнюється з розрахунковими значеннями.

Експериментальний метод визначення  $T_L$  заснований на вимірюванні звукового тиску в декількох точках на вході і на виході досліджуваного елемента системи обробки відпрацьованих газів, розрахунковому поділі падаючої і відбитої хвилі, подальшому розрахунковому знаходженні потужності звукових хвиль на вході  $W_{вх}$  і виході  $W_{вих}$  елемента системи обробки відпрацьованих газів (рис. 3) і визначенні  $T_L$  за формулою:

$$T_L = 10 \lg (W_{вх} / W_{вих}). \quad (5)$$

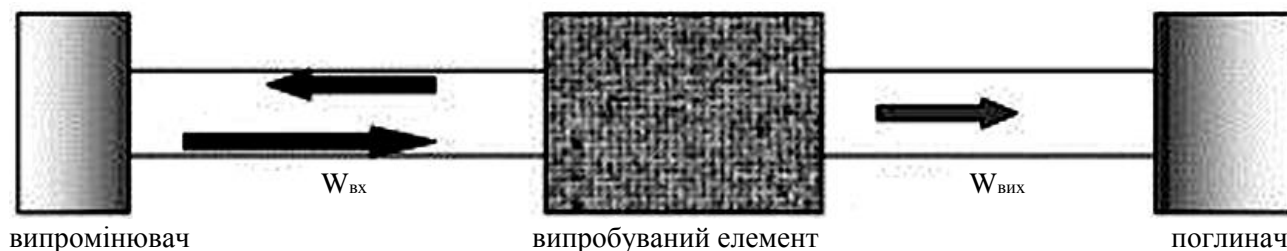


Рис. 3. Схема дослідження елементів системи обробки відпрацьованих газів вантажних автомобілів

Випробуваний елемент системи обробки відпрацьованих газів розміщується між джерелом звукових хвиль на одному кінці труби і звукопоглинаючою конструкцією на іншому кінці труби. Між акустичним випромінювачем і випробуваним зразком встановлюється вхідний вимірювальний блок мікрофонів, а між випробуваним зразком і звукопоглиначем - вихідний вимірювальний блок мікрофонів. При проведенні випробувань вимірюються не тільки амплітудні, а й фазові співвідношення між вимірюваними сигналами у вигляді комплексної передавальної функції [4, 5].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Марков В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
2. Патрахальцев Н. Н. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом / Н. Н. Патрахальцев, А. А. Савастенко. – М.: Легион-Автодата, 2007. – 178 с.
3. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков / А. Д. Блинов, П. А. Голубев, Ю. Е. Драган и др.; под ред. В. С. Папонова, А. М. Минеева. М.: НИЦ Инженер, 2000. – 332 с.
4. Анісімов В. Ф. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання / В. Ф. Анісімов, А. А. П'ясецький. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. - 41 с.
5. Григоров И. Н. Актуальные аспекты деятельности НПО «Турботехника». Разработка турбокомпрессора для высокофорсированного дизеля ЯМЗ-534 Евро-5 / И. Н. Григоров, В. Н. Каминский, Р. В. Каминский, и др. // Научно - публицистический журнал «Наукоград». – 2015. – № 4(6). – С. 44-47.

**Борисюк Дмитро Вікторович**, к.т.н., асистент, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bddv@ukr

**Borysyuk Dmytro**, Ph.D., assistant, department of automobiles and transport management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: bddv@ukr.net