

УДК 621.43

**Ф. М. Судак, канд. техн. наук доцент, І. Ф. Вороніна, канд. техн. наук доцент,
О. О. Ткаченко**

**Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка**

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЇ ПЕРЕДАЧІ КОЛИВНОЇ ЕНЕРГІЇ В КОНСТРУКЦІЮ ДВИГУНА ВІД МЕХАНІЗМУ ГАЗОРОЗПОДІЛЕННЯ

Транспортні засоби з низьким рівнем шуму – це вимога часу. Випромінювання звукових коливань у значній мірі залежить не лише від силового фактора, що визиває коливання, але й від самої конструкції об'єкта, яка передає звукову енергію на зовнішню поверхню. Викладено методику визначення функції й передачі звукової енергії.

Ключові слова: шум, коливання, конструкція, джерело випромінювання, газорозподільний механізм, шумоутворення, двигун, енергія

Вступ

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) являє собою складні механічні й акустичні коливні системи. Випромінювання шуму ДВЗ у значній мірі залежить від здатності конструкції проводити й випромінювати звукову енергію.

Джерелом акустичного випромінювання є зовнішня поверхня двигуна, що вібрує під час його роботи та є проміжною ланкою в передачі звукової енергії від силового чинника в повітряний простір. Критерієм оптимальності (з точки зору мінімального акустичного випромінювання) будови двигуна може бути узагальнена передаточна функція його конструкції, яка являє собою частотну залежність відношення звукового тиску в даній точці простору до силового чинника, що визивав коливання. Така функція характеризує властивість конструкції двигуна передавати пружні хвилі й включає механічні та акустичні опори конструктивних елементів ДВЗ, які випромінюють звук під дією будь-якого силового чинника.

Аналіз досліджень та постановка задачі

Для зменшення шуму автомобіля та його двигуна потрібно оцінювати здатність конструкції ДВЗ передавати або поглинати пружні коливні хвилі, тобто визначити узагальнену передаточну функцію конструкції.

Метою роботи є розробка методики дослідження процесу шумоутворення, що виникає при роботі газорозподільного механізму, як одного із найпотужніших генераторів шуму двигуна.

Основна частина

Всестороння оцінка віброакустичних властивостей існуючих двигунів і тих, що розробляються, необхідна для вдосконалення їх конструкції. Така оцінка можлива при наявності характеристик конструкції механічних коливань систем і акустичних випромінювачів, які дозволяють отримати відомості про діапазон частот, в яких зосереджена основна доля звукової енергії.

Як характеристика, що описує вказані властивості конструкції, використовується таке поняття як функція передачі коливної енергії (ФПЕ). Під функцією передачі коливної енергії конструкції двигуна розуміється відношення енергії, що вводиться в конструкцію в результаті взаємодарів деталей, наприклад, клапанного механізму (км), до енергії коливань зовнішніх поверхонь ДВЗ (n).

© Судак Ф. М., Вороніна І. Ф., Ткаченко О. О., 2012

$$\Phi_{ПЕ} = \frac{W_n}{W_{км}}. \quad (1)$$

Використання цього поняття дає можливість оцінити долю введеної енергії, яка поглинається конструкцією. Крім того, використовуючи функції передачі окремих зовнішніх поверхонь двигуна, можна скласти баланс розподілу енергії по них, а також визначити шляхи розповсюдження енергії окремих елементів конструкції.

Розглянемо способи практичної реалізації даного методу дослідження для розв'язання задач віброакустики двигунів.

Відомо, що енергія визначається масовими характеристиками конкретного елемента конструкції й квадратом його швидкості. Тоді при відомій швидкості переміщення клапана км і коливної швидкості елемента зовнішньої поверхні двигуна n можна записати:

$$W_{км} = A \cdot V_{км}^2, \quad (2)$$

$$W_n = B \cdot V_n^2, \quad (3)$$

де A і B – характеристики, що враховують масові властивості вибраних деталей ДВЗ.

Відповідно до викладеного, вираз для $\Phi_{ПЕ}$ буде мати вигляд:

$$\Phi_{ПЕ} = \frac{A}{B} \cdot \frac{V_n^2}{V_{км}^2}. \quad (4)$$

Звідси випливає, що для визначення $\Phi_{ПЕ}$ необхідно експериментально визначити значення швидкості клапанного механізму км, швидкість на поверхні, що розглядається n , масу клапанного механізму A , а також масу елементів поверхні, що здійснює коливні рухи. Для порівняльних випробувань, які відрізняються лише характером енергії, що вводиться, значення B можна не визначати.

Поняття функції передачі енергії можна приміняти й до зовнішньої поверхні двигуна, що має конкретну площу. Таку характеристику назовемо функцією передачі енергії поверхні ($\Phi_{ПЕП}$). Узагальнення цього поняття на весь двигун дає функцію передачі енергії його конструкції ($\Phi_{ПЕК}$).

Таким чином, якщо конструкцію двигуна розділити на m зовнішніх поверхонь, а поверхня i має n точок вимірювання, то кожен із розглянутих функцій можна описати такими виразами:

для точки k поверхні i :

$$\Phi_{ПЕП_k} = \frac{B_{ik}}{A} \cdot \frac{V_{ik}^2}{V_{км}^2}, \quad (5)$$

для поверхні i , що має n точок:

$$\Phi_{ПЕП_i} = \frac{B_i}{A} \cdot \frac{V_i^2}{V_{км}^2}, \quad (6)$$

де $V_i^2 = \frac{\sum_{k=1}^n V_{ik}^2}{n}$ – середній квадрат швидкості поверхні, m^2/c^2 .

Для всього двигуна, що поділений на m зовнішніх поверхонь:

$$\Phi_{ПЕК} = \frac{B}{A} \cdot \frac{V^2}{V_{км}^2}, \quad (7)$$

$$\text{де } V^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\sum_{k=1}^m V_{ik}^2 \right)}{\sum_{i=1}^m n_i}, \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

Як правило, експериментально швидкість коливання визначають у логарифмічних одиницях – децибелах (дБ). Враховуючи те, що

$$V = V_0 \cdot 10^{0,05 \cdot L_V}, \quad (8)$$

де V_0 – нульовий поріг коливальної швидкості ($V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

L_V – рівень коливальної швидкості, дБ.

Для окремої точки k поверхні i :

$$V_{ik}^2 = V_0^2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}}, \quad (9)$$

де $L_{V_{ik}}$ – рівень коливальної швидкості в точці k , що знаходиться на поверхні i , дБ.

Для поверхні i , на якій маємо n точок виміру:

$$V_i^2 = \frac{V_0^2}{n} \cdot \sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}}. \quad (10)$$

Для клапанного механізму:

$$V_{\text{км}}^2 = V_0^2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}}. \quad (11)$$

З урахуванням вищенаведених виразів функції передачі енергії точки поверхні i конструкції будуть мати вигляд:

$$\Phi_{\text{ПЕТ}_k} = \frac{B_{ik}}{A} \cdot \frac{10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}}}{10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}}}, \quad (12)$$

$$\Phi_{\text{ПЕП}_i} = \frac{B_i}{A} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}}}{10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}}}, \quad (13)$$

$$\Phi_{\text{ПЕК}} = \frac{B}{A} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^m n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}}}{10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}}}. \quad (14)$$

Прологарифмувавши вирази (11, 12, 13) отримаємо:

$$\lg \Phi_{\text{ПЕТ}_k} = \lg 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}} - \lg 10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}} + \lg B_{ik} - \lg A, \quad (15)$$

$$\lg \Phi_{\text{ПЕП}_i} = \lg 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}} - \lg 10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}} + \lg B_i - \lg A - \lg n, \quad (16)$$

$$\lg \Phi_{\text{ПЕК}} = \lg \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{V_{ik}}} - \lg 10^{0,1 \cdot L_{V_{\text{км}}}} + \lg B - \lg A - \lg \sum_{i=1}^m n. \quad (17)$$

Для зручності роботи й наочності зображення, вирази значення енергії, що вводиться в конструкцію й тієї, що реєструється на зовнішній поверхні, вираз (1) через рівні відносно порогового значення потужності буде мати вигляд:

$$\lg \Phi_{ПЕ} = \lg \frac{W_n}{W_o} - \lg \frac{W_{км}}{W_o}. \quad (18)$$

У кінцевому результаті отримаємо:

$$L_{\Phi_{ПЕ}} = L_n - L_{км}, \quad (19)$$

де $L_{\Phi_{ПЕ}}$ – рівень функції передачі енергії конструкції двигуна, дБ;

L_n – рівень енергії, що реєструється на поверхні, дБ;

$L_{км}$ – рівень енергії, що вводиться збудником коливань, дБ.

Слід зазначити, що більшість складових, що включають зазначені вирази частотно залежні, тому дані вирази необхідно аналізувати за всім спектром звукових частот.

Таким чином, для визначення функції передачі енергії необхідно експериментально визначити спектри коливальної швидкості клапана, а також зовнішньої поверхні, що досліджується. Крім того, потрібно визначити масу клапанного механізму й привести її до осі клапана.

Дані дослідження можна провести не на працюючому двигуні, а на безмоторній установці, де розподільчий вал приводиться від електродвигуна з постійною швидкістю, а сама конструкція збуджується одним клапаном.

При виборі кількості точок виміру на конкретній поверхні двигуна використовується принцип визначення їх числа, виходячи з долі площі даної поверхні в загальній площі поверхні, що досліджується.

$$K_i = \frac{F_i'}{F'} \cdot n, \quad (20)$$

де K_i – число точок вимірювання i -ої поверхні;

F_i' – площа i -ої поверхні, м²;

F' – сумарна площа всіх поверхонь, що досліджуються, м²;

n – загальне число точок на поверхні двигуна.

Обробка цього масиву інформації легко виконується з використанням пакета прикладних програм.

Висновок

Розроблено методику визначення функції передачі звукової енергії від джерела її виникнення до зовнішньої поверхні випромінювання в навколишнє середовище. Це дає можливість оцінити досконалість конструкції двигуна, а також вибрати додаткові пристрої, які б гасили звукову хвилю в самій конструкції двигуна.

Список літератури

1. Луканин В. Н. Тепловой двигатель как источник «энтропийного» загрязнения / В. Н. Луканин, Г. М. Камфер // Двигатели внутр. сгорания: пробл., перспективы развития: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – С. 51–67.
Lukanin V. N. Teplovoy dvigatel kak istochnik "entropiynogo" zagryazneniya (Heat Engine as a Source of Entropy Pollution) / V. N. Lukanin, G. M. Kamfer // Dvigateli vnutr. sgoraniya: probl., perspektivy razvitiya: sb. nauch. tr. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – С. 51–67.
2. Луканин В. Н. Шум автотранспортных двигателей / В. Н. Луканин. – М.: Машиностроение, 1978. – 270 с.
Lukanin V. N. Shum avtotransportnykh dvigateley (Motor Transport Engine Noise) / V. N. Lukanin. – М.: Mashinostroyeniye, 1978. – 270 s.
3. Луканин В. Н. Оценка уровня загрязнения атмосферы автотранспортом в крупном городе при замещении жидкого нефтяного топлива газовым / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко // Экология двигателя и автомобиля: сб. науч. тр. – М.: НАМИ, 1998. – С. 121–131.

Lukanin V. N. Otsenka urovnya zagryazneniya atmosfery avtotransportom v krupnom gorode pri zameshchenii zhidkogo neftyanogo topliva gazovym (Evaluation of Atmosphere Contamination Rate from Motor Transport in Big City under Substitution of Liquid Petroleum Fuel by Gas Fuel) / V. N. Lukanin, Yu. V. Trofimenko // *Ekologiya dvigatelya i avtomobilya: sb. nauch. tr.* – М.: NAMI, 1998. – S. 121–131.

4. Луканин В. Н. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко; под ред. В. Н. Луканина // *Итоги науки и техники.* – М.: ВИНТИ, 1996. – Т. 19. – 339 с. – (Серия «Автомобильный и горный транспорт»).

Lukanin V. N. Snizheniye ekologicheskikh nagruzok na okruzhayushchuyu sredu pri rabote avtomobilnogo transporta (Decrease of Ecological Loads on the Environment at Motor Car Performance) / V. N. Lukanin, Yu. V. Trofimenko; pod. red. V. N. Lukanina // *Itoги науки i tekhniki.* – М.: VINITI, 1996. – Т. 19. – 339 s. – (Seriya “Avtomobilnyy i gornyy transport”).

5. Луканин В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда – 2: учеб. пособ. для студентов ВУЗов / В. Н. Луканин, А. П. Буслаев, М. В. Яшина; под ред. В. Н. Луканина. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 646 с.

Lukanin V. N. Avtotransportnyye potoki i okruzhayushchaya sreda – 2: ucheb. posob. dlia studentov VUZov (Traffic Flows and Environment – 2: Textbook for Students) / V. N. Lukanin, A. P. Buslayev, M. V. Yashina; pod red. V. N. Lukanina. – М.: INFRA-M, 2001. – 646 s.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. М. А. Мастепан, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 14.12.12

Ф. М. Судак, И. Ф. Воронина, А. А. Ткаченко
Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ
«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка
Методика определения функции передачи колебательной энергии в
конструкцию двигателя от механизма газораспределения

Транспортные средства с низким уровнем шума – это требование времени. Излучение звуковых колебаний в значительной мере зависит не только от силового фактора, который вызывает колебание, но и от самой конструкции объекта, которая передает звуковую энергию на внешнюю поверхность.

Для уменьшения шума автомобиля и его двигателя необходимо оценивать способность конструкции ДВЗ передавать или поглощать упругие колеблющиеся волны, то есть определить обобщенную передаточную функцию конструкции.

ШУМ, КОЛЕБАНИЯ, КОНСТРУКЦИЯ, ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ, ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, ШУМООБРАЗОВАНИЕ, ДВИГАТЕЛЬ, ЭНЕРГИЯ

F. M. Sudak, I. F. Voronina, A. A. Tkachenko
Automobile Transport and Highway Engineering Institute of
Donetsk National Technical University, City of Gorlovka
Methodology of Function Determining of Oscillatory Energy
Transmission to Engine Structure from Valve Timing Gear

The motor vehicle with low noise level is a call of the times. Acoustic vibration emission largely depends not only on power factor which causes oscillation but on the object structure as well which transfer acoustic energy outside.

The optimization (in terms of the lowest rate of acoustic emission) of the engine design can be a transfer function of its structure which corresponds to frequency dependence ratio of acoustic pressure in the given space point to power factor caused oscillation.

The acoustic emission comes from the outer surface of the engine oscillating while in operation and is an intermediate element in acoustic energy transfer from power factor to air space.

To low noise level of automobile and its engine there is a need to evaluate the structural capability of internal combustion engine to transfer or to absorb the elastic acoustic waves. We need the overall vibroacoustic properties evaluation of existing engines and those being made for their design improvement. Such an evaluation is possible if there are characteristics of systems mechanical oscillation structure and acoustic radiators which allow getting the information about frequency bands where the main part of acoustic energy is concentrated.

NOISE, OSCILLATIONS, DESIGN / STRUCTURE, EMISSION SOURCE, VALVE TIMING GEAR, NOISE EMISSION, ENGINE, ENERGY