

Фактор на излъчване на шум на автомобилен дизелов двигател

Веселин Михайлов, Здравко Иванов

***Radiation factor of automobile diesel engine:** Radiation factor is main acoustic characteristics of the construction of internal combustion engine. It enables to forecast the acoustic behavior of the engine in different operating modes and in all events affecting the development of working process as a major exciting force. Through experimental research the radiation factor of a diesel engine with direct injection was determined. Levels of vibrovelocity and sound power were determined at different rpm and load regimes in the power range of engine operation. The analysis of the results obtained shows that the structure is optimized in terms of acoustics in the field of low frequencies.*

Key words: noise, vibrations, radiation factor, internal combustion engine.

ВЪВЕДЕНИЕ

Шумът, излъчен от автомобилните двигатели с вътрешно горене може да бъде разглеждан като съставен от аеродинамичен и структурен шум. Аеродинамичният шум се определя главно от процесите и системите за газообмен на ДВГ, и от работата на допълнителните механизми и системи, осигуряващи работата на двигателя. Тази съставляваща на общия шум е значителна по интензитет и в редица случаи е доминираща. Нейното ниво се намалява значително чрез използване на елементи в смукателния и изпускателния тракт на двигателя, които чрез звукопоглъщане и звукоизолация я свеждат до минимум. Нивото на структурния шум се определя основно от работния процес на двигателя, чрез неговата директна и индиректна съставляваща, работата на системите за газоразпределение и горивоподаване, ударите в хлабините на кинематичните двойки, както и от общите вибрации на еластично окачения двигател. След използване на шумозаглушители за редуциране нивата на аеродинамичен шум, определящ за общото шумоизлъчване се явява структурния шум.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Автомобилните двигатели излъчват шум чрез вибрации на своите повърхнини, които се разпространяват в средата като звукови вълни. Връзката между виброскоростта на излъчващата повърхнина и звуковата мощност, генерирана от вибриращите повърхнини, се определя от фактора на излъчване, който отразява ефективността на дадена повърхнина да излъчва звукови вълни - [1], [2]. За някои прости геометрични форми, фактора на излъчване може да бъде определен аналитично. За сложни повърхнини, както е случая при двигателите с вътрешно горене, може да се използва методиката, посочена в ISO/TS7849 - [3]. Тази методика се отнася до определяне звуковата мощност на излъчвания шум посредством измерване на виброскоростта на вибриращата повърхнина и фактора на излъчване.

Цилиндровият блок на двигателя представлява най-значимата част по отношение на шумоизлъчването. Неговото вибрационно състояние се определя от въздействието на работния процес върху стените на цилиндъра, ударите в кинематичните двойки на механизмите, еластичните деформации в следствие въздействието на различни променливи сили в двигателя, както и от пространствените вибрации на двигателя.

Същност на метода

Звуковата мощност, излъчена от дадена машина и породена от структурните вибрации на нейните външни повърхнини, може да бъде определена съгласно уравнението:

$$P_s = \rho \cdot c \cdot v^2 \cdot S \cdot \sigma \quad (1)$$

където: P_s , [J/s] – звукова мощност; ρ , [kg/m³] – средна плътност на въздуха; c , [m/s] – скорост на звука във въздух; v^2 , [m²/s²] – квадратична стойност на нормалната виброскорост, осреднена за площ S ; S , [m²] – площ на външната повърхнина на вибриращата машина; σ , [-] – фактор на излъчване

Фактора на излъчване представлява мярка за ефективността на вибрираща повърхнина да генерира звукова мощност. Следователно той може да се дефинира като отношение на звуковата мощност към произведението на виброскоростта на квадрат, акустичния импеданс $\rho \cdot c$ и площта S .

$$\sigma = \frac{P_s}{\rho \cdot c \cdot S \cdot v^2} \quad (2)$$

Могат да бъдат направени следните допускания:

- акустичния импеданс на еластичната среда е константа за дадени метеорологични условия (при стандартни условия $\rho \cdot c = 411 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$)
- звуковата мощност може да бъде определена съгласно ISO 3741, ISO 3743, ISO 3744, ISO 3745, ISO 3746 или ISO 9614
- стойността на v^2 може да бъде получена от измерване на средноквадратичната виброскорост, измерена перпендикулярно на външната повърхнина S и измерена в достатъчен брой точки.

Следователно фактора на излъчване, показващ способността на вибрационното поле, може да бъде определен експериментално и зависи от следните фактори:

- размерите на излъчващата повърхнина, сравнена с дължината на вълната на звука за съответната честота
- формата на излъчващата повърхнина
- модите на колебание в честотния обхват/диапазон

Апаратура и методология на измерването

За пресмятане на фактора на излъчване е необходимо да бъдат измерени звуковата мощност и средната стойност на виброскоростта по повърхността на блока. Използваната апаратура е аналогична на посочената в [4].

Нивото на звукова мощност се измерва посредством метод с използване на звуково налягане - ISO 3744, [5]. Шумът се измерва с помощта на микрофонен капсул тип RFT MK221 и микрофонен предусилвател тип RFT MV 202.

За определяне средната виброскорост са измерени вибрациите на отделните повърхнини в определен брой точки, равномерно разположени по повърхнината. Използва се акселерометър, като след това се превръща ускорението в скорост. За измерване на виброускорението се използва пиезоелектричен възприемател тип RFT KD91 и усилвател тип RFT 00028.

Сигналите от отделните възприематели се регистрират и записват в цифров вид от 12-битов многоканален аналого-цифров преобразувател (АЦП) тип USB Autoscope III. Използваният период на сканиране на всеки канал е 400 kHz. Определена е също площта на вибриращата повърхнина.

Определянето на виброскоростта се осъществява с измерване на виброускорение, съгласно следните стъпки:

1. запис на сигнала от акселерометъра в напрежение;
2. преобразуване на измереното напрежение в ускорение [m/s²], като се използва коеф. за преобразуване за съответната измервателна апаратура. В настоящия случай $k = 0.961 \text{ m/s}^2 \cdot \text{mV}$;

3. определяне на ниво на виброускорение L_a , като се използва формулата $L_a = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{a_0} \right)$, [dB], където $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$;

4. определяне на ниво на виброскорост L_{vi} , използвайки формулата $L_{vi} = L_a - (20 \log_{10} \frac{f_m}{f_0} - 10)$, [dB], където f_m , [Hz] – средногеометрична честота на терцоктавна лента; f_0 , [Hz] – референтна честота, $f_0 = 1 \text{ Hz}$;

5. определяне на средната скорост за измерваната област, съгласно формулата $L_v = 10 \log\left(\frac{1}{N} \sum 10^{(0.1 L_{vi})}\right)$, [dB].

Определянето на общия фактор на излъчване за всяка лента, изисква познаването на звуковата мощност P_s , посочена в числителя на уравнение (2). Звуковата мощност е определена чрез измерване на звуково налягане съгласно ISO 3744.

Накрая, приемайки акустичния импеданс за въздуха при стандартни условия $411 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$, отговарящ на 23°C и атмосферно налягане 101325 Pa , и отчитайки общата вибрираща площ S за трите зони, честотно зависимия тренд на фактора на излъчване може да бъде определен използвайки формулата:

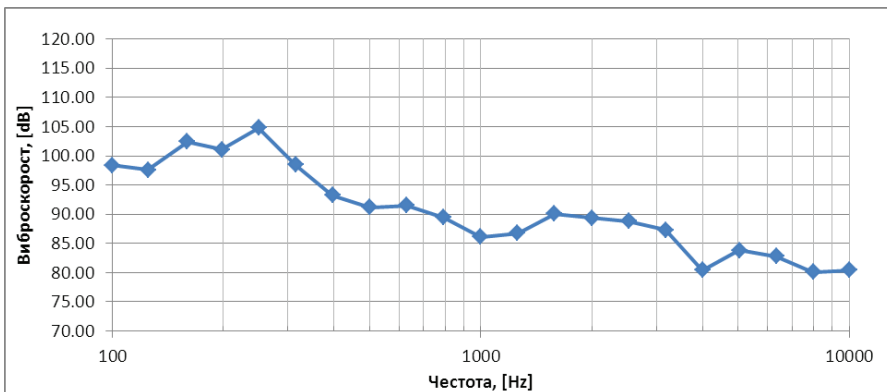
$$L_{ws} = L_v + 10 \log \frac{S}{S_0} + 10 \log \sigma + 10 \log \frac{411}{400}, \text{ [dB]}$$

където: L_{ws} , [dB] - звукова мощност; L_v , [dB] – средната виброскорост (референтна скорост: 50 nm/s) на вибриращата повърхнина; S , $[\text{m}^2]$ площ на излъчващите повърхнината, $S_0 = 1 \text{ m}^2$ – референтна площ; $\rho c = 411 \text{ N.s/m}^3$ акустичен импеданс, посочен в ISO TS 7849, докато $\rho c = 400 \text{ N.s/m}^3$ е референтната стойност, използвана в акустиката.

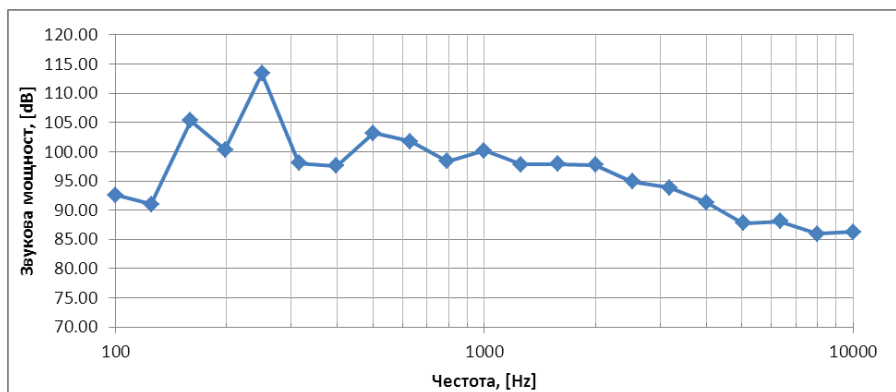
Резултати от изследването

Обект на изследването е високочестотен автомобилен дизелов двигател с непосредствено впръскване. Нивото на аеродинамичен шум е редуцирано чрез изолиране на смукателния и изпускателния тракт.

За изследвания двигател експериментално е определен факторът на излъчване на шум при работа на различни честотни и товарни режими. Изследвани са общо 21 режима на работа, които обхващат целия мощностен диапазон на работа на двигателя, при които са въздействали различни по големина възбуждащи сили. За пример на фиг. 1 и фиг.2 са показани получените стойности на виброскоростта и звуковата мощност при един режим на работа: $n=2500 \text{ min}^{-1}$ и $M=50 \text{ Nm}$. Данните от честотния анализ са изобразени в терцоктавни ленти със средно геометрични честоти в диапазон от 100Hz до 10000 Hz.

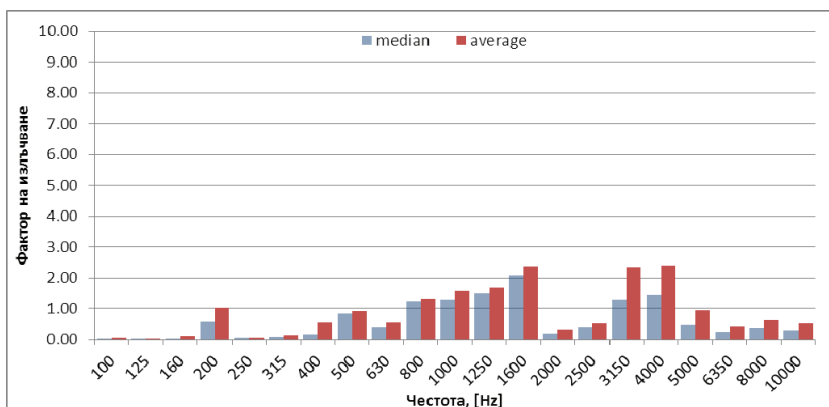


фиг.1 Виброскорост



фиг.2 Звукова мощност

На фиг.3 са показани обобщените резултати за средните и медианните стойности на фактора на излъчване за изследвания двигател. Незначителното повишение на резултатите при пресмятаната със средни стойности се дължи на наличието на единични резултати с голямо отклонение.



фиг.3 Фактор на излъчване

Анализът на графиката за фактора на излъчване показва, че в областта на ниските честоти до около 500Hz се получават най-ниските стойности. за тази честотна област демпфиращите свойства на конструкцията са най-добри. Това е благоприятно по отношение на шумоизлъчването поради факта, че най-високите нива на хармониците от газовите сили на двигателя се срещат именно в този честотен диапазон. В областта на диапазона от 500Hz до 2000Hz, и от 4000Hz до 5000Hz стойностите на фактора на излъчване нарастват. Това показва, че в тези диапазони конструкцията на двигателя не е оптимизирана по отношение на нейните акустични характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фактора на излъчване е основна акустична характеристика на конструкцията на двигателите с вътрешно горене. Той дава възможност да бъде прогнозирано акустичното поведение на двигателя при различни експлоатационни режими на работа и при всякакви мероприятия влияещи върху развитието на работния процес, като основна възбуждаща сила.

Схемата на окачването и неговите параметри оказват влияние върху фактора на излъчване. Това влияние се отразява главно в областта на ниските честоти. По този начин е възможно прогнозиране на шумоизлъчването на двигателя и при други схеми и параметри на окачване на силовия агрегат.

Определянето на нивата на виброскорост е извършено чрез използването на високочестотни пиезокварцови възприематели за измерване на виброускорение, след което данните са обработени и структурирани в терцоктавни ленти. При необходимост е възможно същия да бъде представен в ленти с друга относителна ширина. Изследването на фактора на излъчване за конкретния двигател е извършено при честотни и товарни режими в целия мощностен диапазон на работа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Mao Q., S. Pietrzko, Control of Noise and Structural Vibration, Springer-Verlag, London, 2013

[2] Банов Ст., И. Кралов. Шум в транспортната техника. ТУ-София, 2003

[3] ISO/TR 7849:1987, Acoustics - Estimation of airborne noise emitted by machinery using vibration measurement ;

[4] Михайлов В. Виброакустично поле на дизелов двигател с непосредствено впръскване. XX Научно-техническа конференция с международно участие ЕКО-Варна, стр.423-430, изд. ТУ-Варна, 2014, ISSN 2367-6299 ;

[5] Иванов, В. Михайлов, Хр. Мерсинков, Шумови характеристики на газови електромагнитни вентили, XIX НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „ЕКО ВАРНА 2013“, том XIX, стр.213-222, изд. ТУ – Варна, 2013, ISBN 954-20-00030

За контакти:

ас. инж. Веселин Михайлов, Технически Университет Варна, катедра ТТТ, тел.: 052-383 464, e-mail: v_mihaylov@tu-varna.bg

доц. д-р инж.Здравко Иванов, Технически Университет Варна, кат.ТТТ, тел.: 052-383 464, e-mail: zdrdi@mbox.actbg.bg

Докладът е рецензиран.