

УДК 621.431.004

ЗАСТОСУВАННЯ ЗВУКОВОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ СТАНУ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОРШНЕВОГО ДВИГУНА

Сілевич В.Ю., к.т.н.

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Abstract

The development of the automotive industry, along with an increase in requirements for safety, environmental friendliness and efficiency, requires effective diagnosis of the condition and malfunctions of the car and its systems. The continuous diagnosis of malfunctions of the most complex and critical car element - internal combustion engine is a rather important problem; therefore, the development of a state monitoring system for a car's engine capable of warning in advance about its malfunctions, condition, and operating modes is an urgent problem. Vibration and sound signals emitted by the mechanical systems of a piston engine with the appropriate methods for their registration, processing and analysis can serve to determine its state.

Keywords: acoustic signal, wavelet, Fourier transform, engine malfunction.

Вступ

Поршневий двигун внутрішнього згорання (ПДВЗ), в процесі своєї роботи, є джерелом різних звукових коливань, які генеруються починаючи від руху газів (впуск повітря і випуск відпрацьованих газів), механічної взаємодії зубчастих і кулачкових механізмів і закінчуючи шумом додаткових агрегатів двигуна (вентилятор охолодження, насос високого тиску і т. ін.). Також по звуку двигуна автомобіля під час роботи досвідчені механіки можуть визначити не тільки характер несправності але і конкретне місце роботи дефектного агрегату.

Оскільки ПДВЗ є пристроєм із великою кількістю підсистем, то робота кожної такої системи буде супроводжуватися генерацією звуку певної тональності частоти і фази. Швидкість поширення звуку має певну величину, яка залежить від середовища, в якій вона поширюється, тож таким чином можна визначити, при наявності звукових сенсорів встановлених в чотирьох різних точках, місце випромінювання сигналу.

Аналіз попередніх досліджень

Автор роботи [1] розглядав застосування різних вейвлет і Фур'є - перетворень для пошуку одиничних несправностей в різних категоріях поршневих двигунів. Метод дозволяє ефективно обробляти динамічні звукові сигнали двигуна, фільтруючи шуми з інших джерел (навколишнього середовища), які містять значну кількість інформації про умови роботи двигуна.

В роботі [2] проводилися експериментальні дослідження шуму двигуна з метою виявлення його несправностей. У фокусі дослідження лежало порівняння максимальних амплітуд звукових сигналів.

У статті [3] проводився аналіз звуку двигуна для визначення характеру несправності. При обробці сигналу враховувалися наступні параметри: основна частота звуку, частотний спектр, енергія звукової хвилі, швидкість переходу через нуль.

Аналіз звуку двигуна використовується не тільки для виявлення порушень в його роботі. Так в [4] за допомогою обробки звуку елементів циліндро-поршневої групи проводились роботи із зниження шуму двигуна в цілому. В результаті дослідження вносилися зміни до конструкції поршня - його геометрії, положення центру мас.

Постановка проблеми

Зростання складності систем автомобільної промисловості та вимог до їх експлуатації потребує розширення методів діагностики несправностей та обслуговування автомобілів.

Електронні системи двигуна, що забезпечують його працездатність, такі як датчики тиску повітря та рідин, вмісту кисню, положення колінчастого та розподільного валу, датчики рівня рідин також можуть виконувати функції опосередкованого діагностування двигуна. До таких можна віднести, наприклад, невідповідність кутів повороту колінчастого і розподільного валу (пошкодження механізму приводу газорозподільної системи), занижений тиск у повітряній магістралі після компресора (пошкодження повітряних магістралей), завжди високий рівень кисню у відпрацьованих газах (тріщини або нещільності випускного колектору).

Таким чином виникає необхідність розробки надійного математичного інструментарію оцінки як стану багатофункціональних об'єктів автомобіля так і транспортної системи в цілому.

Мета та завдання

Розробка методу оцінки показників працездатності двигуна автомобіля і його систем за їхнім акустичним сигналом.

Результати вирішення основних завдань

Аналізування сигналу може проводитися шляхом зіставлення його із певним базисом. Такими базисами можуть бути як гармонічні функції, що реалізуються в Фур'є-перетворенні, так і певні базисні функції, обробка за допомогою яких називається вейвлет-перетворенням.

Перетворення Фур'є – математичний апарат, що зіставляє одній функції дійсної змінної іншу. Ця нова функція описує коефіцієнти (амплітуди) при розкладанні вихідної функції на елементарні складові – гармонійні коливання з різними частотами (подібно до того, як музичний акорд може бути виражений у вигляді суми музичних звуків, які його складають). В обробці сигналів і пов'язаних областях перетворення Фур'є зазвичай розглядається як декомпозиція сигналу на частоти і амплітуди, тобто оборотний перехід від часового простору в частотний [5].

Для аналізу було взято два сигнали одного працюючого автомобільного бензинового трициліндрового двигуна із дефектом у випускному колекторі у вигляді тріщини (рисунок 1а) і без дефекту (рисунок 1б).

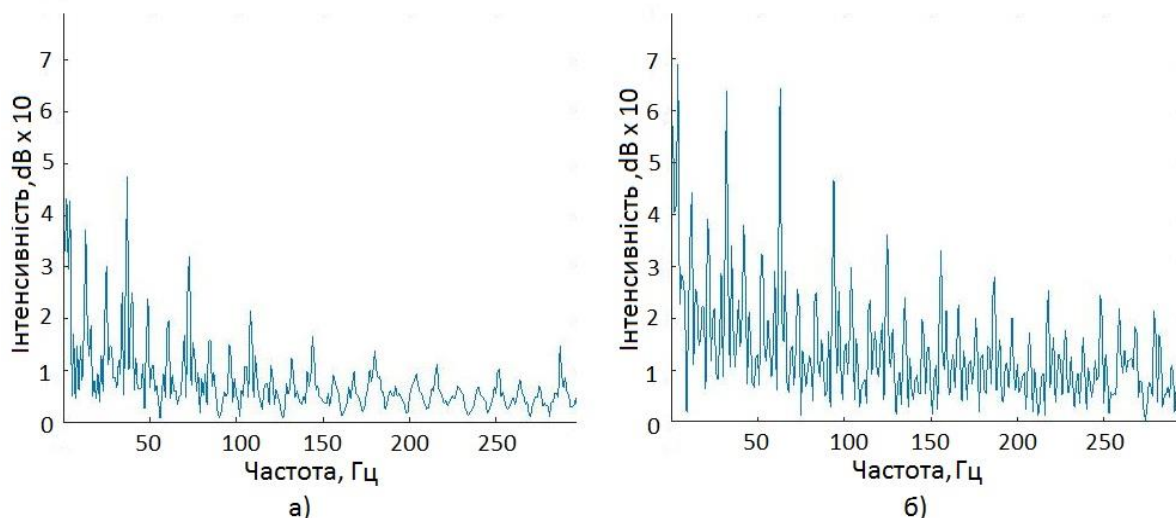


Рисунок 1 Результати Фур'є-перетворення звуку роботи: а) бездефектного двигуна; б) двигуна із дефектом випускного колектора.

На рисунку 1б видно значні сплески кожної третьої гармоніки в полі частота – інтенсивність, в той час як на рисунку 1а висоти сплесків, хоча й розрізняються, але кількісну різницю менш помітно.

Вейвлети - функції типу маленької хвилі в математиці виникли досить давно при вивченні базисів функціональних просторів [5]. Одна із основних переваг вейвлет-аналізу полягає в тому, що він дозволяє помітити добре локалізовані зміни сигналу, тоді як аналіз Фур'є цього не дає, бо в коефіцієнтах Фур'є відбивається поведінка сигналу за весь час його існування.

Існує кілька різновидів вейвлетів, в основі яких лежать певні базисні функції. Найчастіше використовуються вейвлети Морле, Хаара, Меєра та «мексиканський капелюх». Результати досліджень звуку того ж двигуна, що і в попередньому випадку вейвлет-перетворенням Морле показано на рисунку 2.

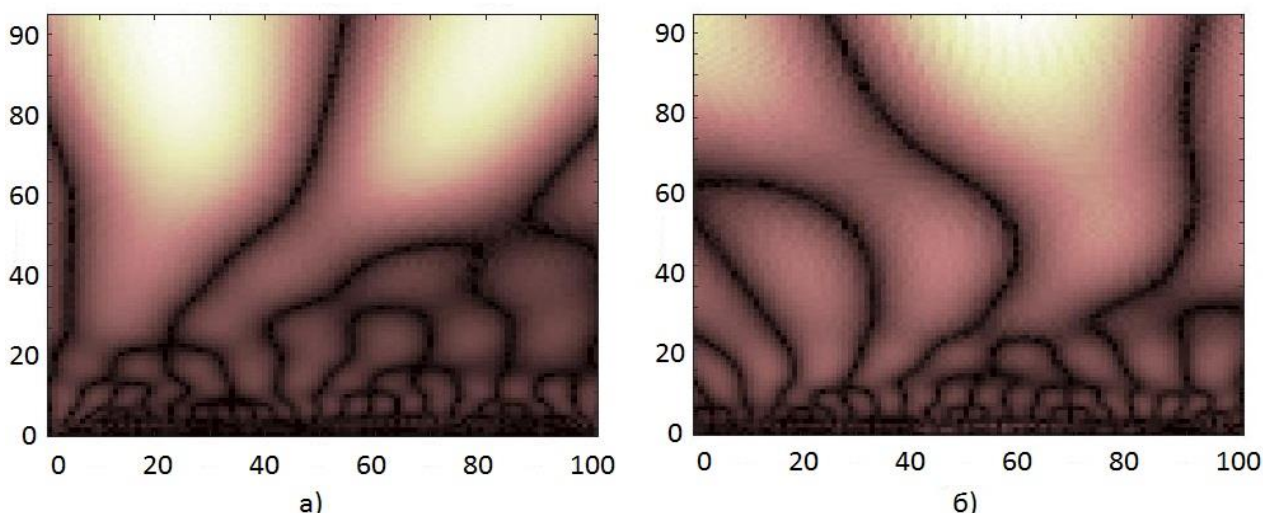


Рисунок 2 Результати вейвлет-перетворення Морле звуку роботи: а) бездефектного двигуна; б) двигуна із дефектом випускного колектора.

На фазовому портреті, що отримано перетворенням Морле, можна розрізнити лінії які замикаються у вибраній зоні і які ні. Ті лінії, що не мають замкненості, характеризують наявність певних складових сигналу, які будуть найбільш подібні до базового сигналу.

У вейвлеті Меєра та Хаара добре відстежується наявність лише однієї найбільш вираженої гармоніки у вигляді незамкненої лінії.

Диференціювання сигналу із отриманням першої та другої похідної дозволяє отримати інформацію про швидкість та прискорення зміни його амплітуди. Так, в просторі «стан - швидкість - прискорення» кожен динамічний подій можна відобразити точкою з координатами $X(t)$, $dX(t)/dt$, $d^2X(t)/dt^2$. Причинно-наслідково пов'язані між собою події утворюють в просторі «стан-швидкість-прискорення» замкнену траєкторію [6].

Застосування чисельного диференціювання відцифрованих сигналів має місце при обробці аналітичної інформації. Перша похідна сигналу характеризує швидкість зміни амплітуди щодо зміни абсциси, тобто часової осі, яка інтерпретується як нахил дотичної лінії сигналу в кожній точці.

Друга похідна є похідною від першої і являє собою міру кривизни лінії сигналу, або швидкість зміни нахилу дотичної сигналу в кожній точці кривої.

Отримані картини показують зміни не тільки структури, а й форми і масштабу, що представляється більш інформативним при вивченні стану досліджуваних об'єктів.

Висновки

Використання зазначених засобів на додаток до штатної системи діагностики несправностей двигуна, можливості якої обмежені використанням цільових датчиків системи моніторингу, може значно розширити можливості діагностування для механічних систем і вивести її на новий якісний рівень з можливістю поглибленого аналізу стану двигуна.

Література

1. Automobile engine condition monitoring using sound emission. Hamid GHADERI, Peyman KABIR. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2017. № 25, С. 1807 – 1826.
2. Engine Fault Diagnosis Using Acoustic Signals. Wail M. Adaileh. Progress in Environmental Protection and Processing of Resource. 2013. № 2020. С. 295 – 298.
3. An analysis of sound for fault engine. Suphattharachai Chomphan, Theerathan Kingrattanaset. American Journal of Applied Sciences. 2014. № 11(6). С. 1005 – 1009.
4. Dolatabadi, N., Theodossiades, S., Rothberg, S. J., An investigation on impact-induced oscillations and noise in lubricated conjunctions. 26th International Conference on Noise and Vibration Engineering, Leuven, Belgium. 15-17 вересня 2014р. С. 1347 – 1359.
5. Смоленцев, Н. К., Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. М.: ДМКПрес. 2014. 628 с.
6. Мигаль, В. П., Мигаль, Г. В. Киберфизический подход к исследованию функционирования динамических систем. Электротехнические и компьютерные системы. № 22(98). 2016
7. Hrynkiw A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. Технологический аудит и резервы производства. - Харків : Технологічний центр, 2019. - № 3 (1). - С. 25-30.