



ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ДЕФЕКТАМИ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ

Д. Е. ОКСЕНЬ, Е. И. ОКСЕНЬ

Автомоб. дорожный ин-т Донецкого нац. техн. ун-та. 84646, Украина, г. Горловка, ул. Кирова, 51.

E-mail: inst@adidonntu.org.ua

Рассмотрены вопросы повышения эффективности диагностирования системы крепления корпуса и механизмов двигателей внутреннего сгорания путем определения отклика виброакустического поля на внешних поверхностях корпусных деталей для проведения стендовых испытаний. Выполнены экспериментальные исследования влияния дефектов подвески и механизмов двигателей внутреннего сгорания на распределение виброакустической энергии по внешним поверхностям корпусных деталей. Методология исследования заключается в фиксации колебаний поверхности корпусных деталей как отклика совокупности всех колебательных процессов, протекающих в двигателях при стационарных режимах работы и построении так называемой виброакустической карты. Точные координаты максимумов концентрации энергии могут быть определены привязкой виброакустической карты к топологии корпуса двигателя, что может быть использовано для локализации дефектов механизмов и систем во время технической диагностики. Метод виброакустических карт рекомендуется для практического использования при диагностировании двигателей внутреннего сгорания и других сложных технических систем. Библиогр. 8, рис. 4.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, дефект, диагностика, виброакустическая эмиссия, виброакустическое поле, виброакустическая карта

Диагностирование технических систем, состоящих из целого ряда механизмов с подвижными звеньями, является сложной задачей. При оценке технического состояния таких систем основной проблемой является локализация возможных дефектов. Обеспечив эффективный контроль вибрационных процессов, возникающих во время работы машин и механизмов, можно выявить неисправности на самых начальных стадиях развития. Это позволит не только предотвратить возникновение аварийных ситуаций, но и значительно снизить затраты на устранение неисправностей, так как данная методика не требует разборки диагностируемого механизма [1,2].

Таким образом, тема, направленная на исследование процесса излучения двигателем внутреннего сгорания (далее ДВС или двигатель) вибрационных волн, вызванных динамическим взаимодействием его кинематических звеньев с целью выявления особенностей, свидетельствующих о наличии дефектов в механизмах и деталях, актуальна [3].

Ранее были проведены исследования, направленные на разработку методики оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по энергии сигналов акустической эмиссии на основе критерия мощности амплитуд сигнала. Авторы предлагают осуществлять диагностирование технического состояния кинематических пар двигателя путем цифровой фиксации сигналов виброакустической эмиссии, возникающих при его работе [4, 5].

Данные исследования создают предпосылки для углубленного изучения влияния дефектов подвески и механизмов двигателя на распределение энергии колебаний во внешних поверхностях корпусных деталей.

Цель работы – повышение эффективности диагностирования системы крепления корпуса и механизмов ДВС путем определения отклика виброакустического поля на внешних поверхностях деталей ДВС для проведения стендовых испытаний.

Объект исследования – процесс излучения двигателем виброакустических волн, вызванных динамическим взаимодействием его кинематических звеньев.

Задача работы – экспериментальные исследования влияния дефектов подвески и механизмов ДВС на распределение виброакустической энергии по внешним поверхностям корпусных деталей.

Разработка методики и аппаратуры. В данной работе под виброакустической картой (ВАК) понимается набор значений величин параметров колебательных процессов и упругих деформаций для всех точек тела. При построении ВАК использован массив данных, полученный последовательной установкой преобразователя виброакустической эмиссии на поверхность корпуса ДВС по решетке 7×7 с шагом 7 см. Полученные отрезки данных синхронизированы по сигналу с датчика угловой скорости. Эксперимент проводили на двигателе автомобиля ВАЗ-21011, а измерения – на специально разработанной экспериментальной

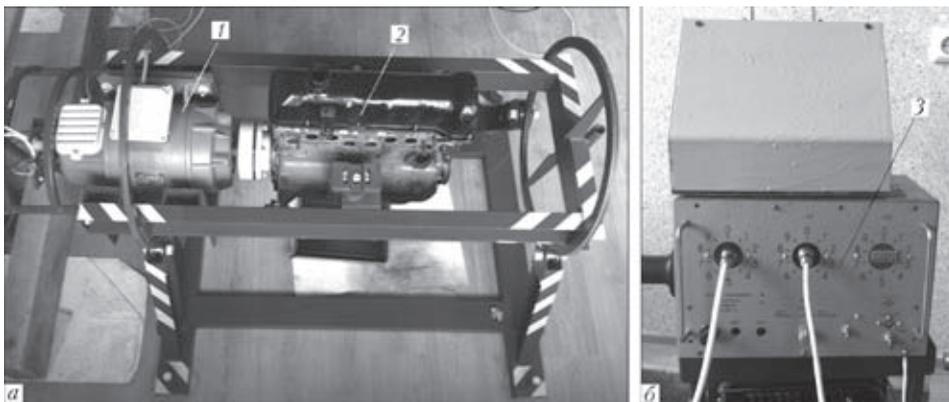


Рис. 1. Экспериментальная установка: а – стенд; б – панель управления (обозначения см. в тексте)

установке, состоящей из электродвигателя 1, ДВС – 2 и панели управления 3 (рис. 1). Одновременно фиксировались два параметра – виброакустические колебания корпусных деталей и угловая скорость вращения коленчатого вала ДВС.

Методология исследования заключается в фиксации колебаний поверхности корпусных деталей как отклика совокупности всех колебательных процессов, протекающих в ДВС в стационарных режимах работы. Процесс измерений включает следующие этапы: разбивку исследуемого участка поверхности ДВС на прямоугольную сетку с постоянным шагом и фиксацию значения величин отклика в узлах измерительной сетки.

Фиксацию сигналов виброакустических колебаний корпусных деталей выполняли пьезоэлектрическим широкополосным преобразователем виброакустической эмиссии 3 (рис. 2). Пьезоэлектрические сигналы были нормализованы при помощи четырехканального усилителя заряда 2 модели СА-2614 и подавались на модуль аналого-цифрового преобразователя 4 модели ADA-1406. Угловая скорость фиксировалась аналоговым датчиком на основе генератора постоянного тока. Запись сигналов вели при помощи компьютера 1.

Дальнейшую обработку полученных данных выполняли на основе предположения, что характер колебания всех деталей ДВС цикличен в соответствии с тактами рабочего процесса и неизменно повторяется для каждого последующего

цикла. Для анализа использовали фрагменты сигналов виброакустической эмиссии равной длины. Синхронизация данных осуществлялась по показаниям датчика угловой скорости таким образом, чтобы синхронизированные отрезки сигналов могли считаться полученными при одном и том же положении коленчатого вала. Преобразовав виброакустические сигналы в векторы спектральной характеристики и сопоставив их с учетом геометрического положения на поверхности ДВС точек, в которых они были измерены, получим поверхность – ВАК, характеризующую интенсивность виброакустических процессов, протекающих в той или иной части ДВС.

Для записи сигналов была разработана программа Writer-v306, позволяющая выполнять необходимое количество циклов записи рациональной длины в рамках одного измерения (рис. 3).

Число циклов записи определяется количеством точек в схеме разбивки исследуемой поверхности, длина каждого цикла принимается такой, чтобы объем каждого из записанных файлов не превысил объем оперативной памяти компьютера. Программа обеспечивает автоматическую нумерацию файлов в соответствии с порядковым номером точки измерения. Также предусмотрена возможность двух-, четырех- и восьмикратного усиления сигналов в любом из двух каналов.

Анализ полученных данных. Анализ полученных данных выполнялся в два этапа:

– выделение в сигналах фрагментов, соответствующих четырем оборотам коленчатого вала, и



Рис. 2. Общий вид измерительной аппаратуры (обозначения см. в тексте)

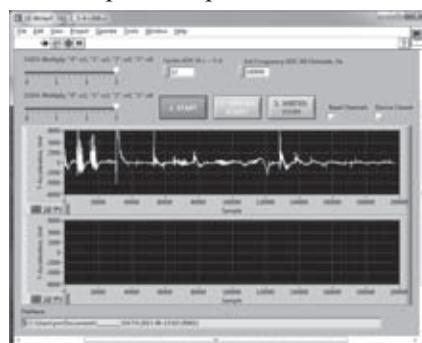


Рис. 3. Интерфейс программы Writer-v306



построение для них амплитудно-частотных характеристик (АЧХ);

– объединение АЧХ узловых точек в единую поверхность – ВАК.

АЧХ для зафиксированного сигнала f длины N рассчитывали в соответствии с зависимостями дискретного Фурье-преобразования [6, 8]. При этом в комплексной форме коэффициенты гармонического ряда определялись как

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} f_i e^{-j(2\pi/N)ki}, \quad (1)$$

где $k = 1, 2, \dots, \left(\frac{N}{2}\right)$; $\text{Re}(C_0) = \frac{1}{2N} \sum_{i=0}^{N-1} f_i$; $\text{Im}(C_0) = 0$.

Коэффициенты гармонического ряда рассчитывали в соответствии с алгоритмом быстрого Фурье-преобразования FFT, для этого размерность фрагмента вектора сигнала f принимали равной $N = 2^n$.

Построение АЧХ сигналов виброакустической эмиссии выполнялось на основе фундаментальных свойств:

для амплитуды

$$A_k = |C_k| = \sqrt{\text{Re}(C_k)^2 + \text{Im}(C_k)^2}, \quad (2)$$

для частоты

$$v_k = \frac{1}{Tk}, \quad (3)$$

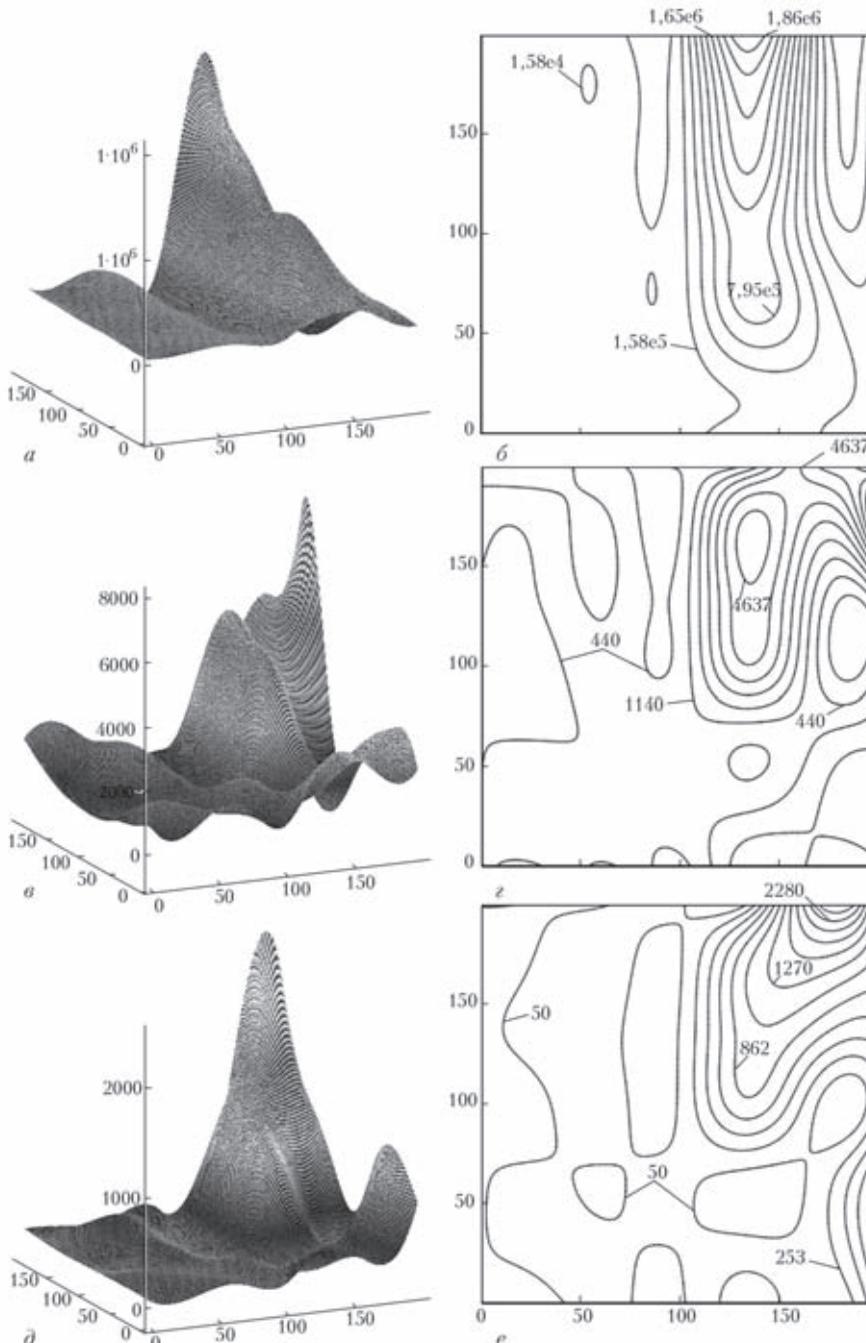


Рис. 4. ВАК поверхности корпуса ДВС для различных частотных диапазонов, Гц



где T – период опроса канала аналого-цифрового преобразователя, с.

Объединение АЧХ узловых точек в ВАК выполнялось следующим образом

Формировалась матрица M векторов АЧХ в узловых точках размерностью 7×7 :

$$M_{j,k} = A_{n+k}, \quad (4)$$

где A_i – вектор АЧХ i -го узла виброакустической карты; n – порядковый номер строки матрицы M .

Был установлен частотный диапазон визуализации энергии: fb – нижняя граница, ft – верхняя граница. В матрице M выделялась суммарная виброакустическая энергия в заданном частотном диапазоне:

$$fb = FB \frac{SR}{N}, \quad (5)$$

$$ft = FT \frac{SR}{N}, \quad (6)$$

где FB, FT – соответственно номер нижней и верхней гармоники; SR – частота опроса одного канала (50000 Гц); N – размерность вектора АЧХ.

В соответствии с принятым шагом $L = 0,07$ м формировалась матрица MM узловых точек ВАК:

$$MM_{j,k} = \sum_{FB}^{FT} (M_{j,k})_{FB}. \quad (7)$$

Выполнялась интерполяция матрицы MM кубическим сплайном, для этого определялись значения интерполирующего коэффициента S :

$$S = \text{cspline}(X, Y), \quad (8)$$

где X – сетка координат; Y – значения векторов.

Тогда ВАК представляет собой результат интерполяции:

$$VAM = \text{interp}(S, X, MM, V), \quad (9)$$

где V – вектор поверхности.

Данная методика позволяет оценивать интенсивность виброакустической эмиссии в любом заданном диапазоне частот. Так, на рисунках представлены виброакустические карты в виде поверхностей и изолиний для следующих диапазонов: 6...50000 Гц (рис. 4, а), 500...50000 Гц (рис. 4, б), 2000...50000 Гц (рис. 4, в). Как видно

из диаграмм, основная энергия колебаний сосредоточена в низкочастотной области, что обусловлено вертикальными колебаниями корпуса ДВС относительно подвески. При повышении нижней границы диапазона анализируемых частот на ВАК проявляется область концентрации энергии в высокочастотной составляющей, геометрически расположенная в районе газораспределительного механизма первого цилиндра.

Точные координаты максимумов концентрации энергии могут быть определены привязкой ВАК к топологии корпуса двигателя, что может быть использовано для локализации дефектов механизмов и систем во время технической диагностики.

Выводы

Метод ВАК позволяет определять координаты геометрического положения на поверхности корпуса двигателя областей с максимальными виброакустическими колебаниями в заданных частотных диапазонах.

Метод ВАК рекомендуется для практического использования при диагностировании двигателей внутреннего сгорания и других сложных технических систем.

1. Оксень Е. И., Цокур В. Г., Оксень Д. Е. Исследование особенностей сигналов акустической эмиссии, возникающих в кинематических парах двигателя при работе со знакопеременными нагрузками // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 1. – С. 141–146.
2. Оксень Е. И., Цокур В. Г., Оксень Д. Е. Методика оценки ресурса кинематических пар механизмов двигателя по уровню сигналов акустической эмиссии // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий зб. – 2007. – № 1(4). – С. 138–142.
3. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 387 с.
4. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
5. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – С.-Пб.: Питер, 2002. – 608 с.
6. Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в атомной энергетике // Под ред. К. Б. Вакара. – М.: Атомиздат, 1980. – 260 с.
7. Филоненко С. Ф. Акустическая эмиссия. Измерения, контроль, диагностика. – Киев: КНУЦА, 1999. – 304 с.
8. Шароглазов Б. А., Фарафонов М. Ф., Клементьев В. В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учеб. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.

The paper deals with the issues of improving the effectiveness of diagnosing the systems of fastening the case and mechanisms of internal combustion engines by determination of the vibroacoustic field response on outer surfaces of case parts for bench testing. Experimental investigations were performed of the influence of defects in suspension and mechanisms of internal combustion engines on vibroacoustic energy distribution over the case part outer surfaces. Investigation procedure consists in recording the vibrations of case part surfaces as a response of the totality of all the vibrational processes running in the engines in stationary operating modes and plotting the so-called vibroacoustic map. Accurate coordinates of energy concentration maximums can be determined by matching the vibroacoustic map to engine case topology that can be used to localize the defects of mechanisms and systems during engineering diagnostics. Method of vibroacoustic maps is recommended for practical application at diagnosis of internal combustion engines and other complex engineering systems. References 8, Figures 4.

Key words: internal combustion engine, defect, diagnostics, vibroacoustic emission, vibroacoustic field, vibroacoustic map

Поступила в редакцию
02.08.2013