

1. *Experimental studies of combined heat warming up the engine with battery [Text] / D.S. Adrov, I.V. Grytsuk, V.D. Alexandriov, V.A. Postnikov, Ju.V. Prylepskiy, V.I. Doroshko, B.S. Verbovskiy, Z.I. Krasnokutskaya // Coll. Science. works DonIzt UkrDAZT. - Donetsk: DonIzt, 2012 - № 31. - S. 158-167.* 2. *Computer program "computer program calculating the fuel efficiency and environmental performance of gas-piston internal combustion engine C-159M2 (6CHN 12/14) with a heating system combined with implementation starting and warm-up." Certificate of registration of copyright number 445374 from 03.09.2012. Application from 02.07.2012 № 45606 / I.V. Grytsuk, D.S. Adrov, P.S. Krasnokutskaya - 2с. 3. Results of calculation of fuel efficiency and environmental performance of gas-piston internal combustion engine cycle for pre-heating and starting*

on a mathematical model of the application of the combined heating [Text] / I.V. Grytsuk, D.S. Adrov, V.S. Verbovskiy, Z. I. Krasnokutskaya // Coll. Science. works DonIzt UkrDAZT. - Donetsk: DonIzt, 2012 - № 32. - S. 185-195. 4. *Mathematical model of the thermal phase transition of the battery combined heating ICE [Text] / D.S. Adrov, I.V. Grytsuk, V.A. Postnikov // Coll. Science. works of Ukrainian State Academy of Railway Transport. - Kharkov: UkrDAZT, 2012. - № 133. - S. 270-277.* 5. *Sychushkin I.V. Automated identification of thermal parameters of the water system of the vehicle power plants [electronic resource] / I.V. Sychushkin (system efficiency and power saving electricity) - Mode of access: http://www1.ntnu.nov.ru/RUS/NEWS/futuretechnology_2005/section02.doc.*

Поступила в редакцию 12.05.2013

Вербовський Валерій Степанович – ст. наук. співробітник, Інститут газу Національної академії наук України, Київ, Україна, e-mail: vverbovskiy@teplosouyz.com.

Грицук Ігор Валерійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Рухомий склад залізниць» Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ, Донецьк, Україна, e-mail: grytsuk_iv@ukr.net.

Адров Дмитро Сергійович – асистент кафедри «Рухомий склад залізниць» Донецький інститут залізничного транспорту УкрДАЗТ, Донецьк, Україна, e-mail: dimitry.85@mail.ru.

Краснокутська Зоя Ігорівна – ст. наук. співробітник кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» Національного транспортного університету, Київ, Україна, e-mail: zoya.dvz@gmail.com.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕПУСКОВОГО РАЗОГРЕВА ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ, ОБЛАДАЮЩИМ ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

В.С. Вербовський, И.В. Грицук, Д.С. Адров, З.И. Краснокутская

В статье рассматриваются результаты математического моделирования процессов работы системы предпускового разогрева стационарного газового двигателя при использовании теплового аккумулятора с теплоаккумулирующим материалом, обладающим фазовым переходом, по циклу предпускового прогрева, пуска и ускоренного прогрева после пуска. Результаты оценивания эффективности применения системы предпускового разогрева подтвердили улучшение топливной экономичности при работе, а также эффективность применения ее, как одного из направлений улучшения экологических показателей газового двигателя без ухудшения топливной экономичности.

INVESTIGATION OF PRE-START HEATING GAS ENGINE BASED ON THE USE OF THERMAL BATTERY HEAT STORAGE WITH MATERIALS HAVING PHASE TRANSITIONS

V.S. Verbovsky, I.V. Grytsuk, D.S. Adrov, Z.I. Krasnokutskaya

The article considers the results of mathematical modeling of the system pre-start heating the stationary gas engine using heat storage with heat storage material with a phase transition in a cycle plugs warm up, start-up and rapid warm-up after starting. The results of evaluation of the effectiveness of pre-start warm-up confirmed the improvement in fuel efficiency at work, as well as the effectiveness of it as one of the areas of improving the environmental performance of the gas engine without deteriorating fuel economy.

УДК 629.113

Д.Е. Оксень, Е.И. Оксень

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МЕХАНИЗМАХ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Приведена методология оценки энергетического баланса колебаний двигателя путем построения виброакустических карт. Измерения были выполнены с помощью цифровой фиксации сигналов модулем аналогово-цифрового преобразователя и пьезометрических преобразователей виброакустической эмиссии. Для настройки измерительной аппаратуры, записи и анализа результатов было разработано специальное программное обеспечение. Выполнен анализ распределения энергии виброакустической эмиссии по частотному диапазону при работе двигателя внутреннего сгорания. Отмечено, что данная методика оценки энергетического баланса колебаний двигателя может быть использована для выявления наличия дефектов в процессе диагностики.

Введение

Значительная часть современной техники работает в условиях интенсивной динамической

нагрузки, и растущие потребности общества требуют постоянного ее увеличения. Вместе с ростом мощности двигателей и энергетических установок,

а так же скорости рабочих процессов, повышаются требования к надежности и безопасности работы машин и механизмов. В таких условиях большую важность приобретает контроль вибрационных процессов.

Эффективный контроль вибрационных процессов, возникающих во время работы машин и механизмов, позволяет выявить дефекты на самых начальных стадиях развития. Это дает возможность не только предотвратить возможные аварийные ситуации, но и значительно снизить затраты на устранение неисправностей.

Таким образом, тема, направленная на исследование процесса формирования виброакустического поля двигателя внутреннего сгорания, с целью выявления особенностей свидетельствующих о наличии дефектов в механизмах и деталях, является актуальной.

Объект исследования – процесс излучения ДВС упругих волн, вызванных динамическим взаимодействием кинематических звеньев в контактных элементах и движением его деталей, как механической системы, при котором поочередно возрастают и уменьшаются параметры движения (в дальнейшем ВАЭ – виброакустическая эмиссия).

Характеристикой виброакустической эмиссии может служить виброакустическое поле (в дальнейшем ВАП) – набор значений величин параметров колебательных процессов и упругих деформаций для всех точек тела. В этом случае интенсивность протекающих процессов может быть оценена по отклику ВАП на внешних поверхностях деталей ДВС.

Цель данной работы – разработка методики определения отклика ВАП на внешних поверхно-

стях деталей ДВС при проведении стендовых испытаний или на неподвижном автомобиле.

Задачи исследований:

- разработка методики и аппаратуры для измерения виброакустической эмиссии;
- экспериментальное исследование параметров отклика виброакустического поля на внешних поверхностях корпусных деталей двигателя;
- построение диаграмм распределения отклика виброакустического поля на внешних поверхностях корпусных деталей двигателя (в дальнейшем ВАК – виброакустическая карта).

Цель работы – построение виброакустической карты ДВС на основе последовательно выполненных измерений в заранее заданных точках исходя из стационарности процесса с синхронизацией по моменту впрыска топлива в первый цилиндр.

Экспериментальная часть

Измерительная аппаратура

Измерение отклика ВАП на твердой поверхности выполнено с помощью цифровой фиксации сигналов модулем аналогово-цифрового преобразователя Е14-440. Одновременно фиксировалось (рис. 1а) два параметра – виброакустические колебания корпусных деталей ДВС и момент впрыска топлива в первый цилиндр. Измерение в каждой точке выполнялось пьезоэлектрическим широкополосным преобразователем ВАЭ 1. Сигнал предварительно разделялся на низкочастотную и высокочастотную компоненты. Момент впрыска топлива в первый цилиндр ДВС фиксировался узкополосным датчиком деформации трубопровода 2. Полученные сигналы нормализовались при помощи четырехканального усилителя заряда LE-41. Общий вид измерительной системы представлен на рисунке 1б.



а)



б)

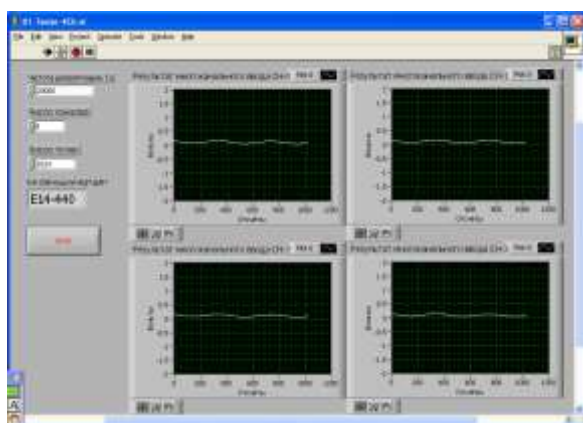
Рис. 1. Измерительная аппаратура:
а – преобразователи ВАЭ; б – общий вид

Для настройки измерительной аппаратуры разработана программа TestChannel (рис. 2а). Фиксация сигналов выполнялась при помощи ориги-

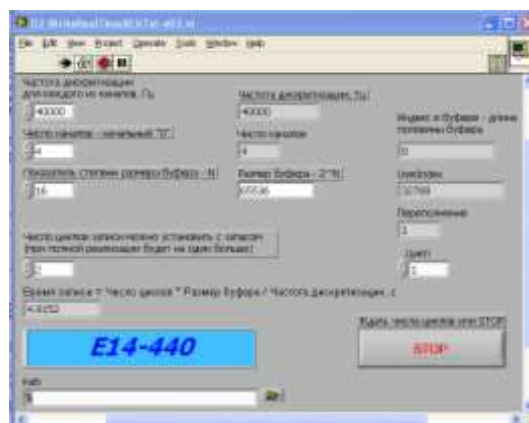
нальной программы WriteToFile (рис. 2б). Запуск программы WriteToFile осуществлялся управляющей программой, обеспечивающей автоматиче-

скую нумерацию фалов в соответствии с порядко-

вым номером точки измерения.



а)



б)

Рис. 2. Программное обеспечение для теста каналов:
а – интерфейс программы TestChannel; б – интерфейс программы WriteToFile

Методика экспериментального исследования

Методика экспериментального исследования основана на предположении, что рабочий процесс ДВС и характер колебания всех его деталей циклично повторяются и неизменны для каждого последующего цикла. Для построения виброакустической карты был использован массив данных, полученный последовательной установкой преобразователя виброакустической эмиссии на поверхность корпуса ДВС по решетке 6×6. Полученные отрезки данных синхронизированы по моменту подачи топлива в первый цилиндр двигателя. Этот момент фиксировался при помощи датчика установленного на трубопровод высокого давления (см. рис. 1б). Синхронизация сигналов работы бензинового двигателя возможна путем фиксирования момента подачи напряжения на одну из свеч зажигания.

Эксперимент проводился на автомобиле Volvo 740, оснащенный двигателем Volkswagen D24. Характеристики двигателя приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики двигателя Volkswagen D24

Тип	Дизельный
Количество цилиндров	6
Объем	2 383 см ³
Максимальные обороты	4 800 мин ⁻¹
Мощность	60 кВт
Материал блока цилиндров	Чугун
Материал головки блока цилиндров	Алюминиевый сплав

Частота опроса каждого из измерительных каналов была принята 40 кГц, поскольку усилитель LE-41 имеет встроенный аппаратный фильтр на 22,5 кГц. Измерения выполнялись в режиме холо-

стого хода на неподвижном автомобиле. Исходя из геометрических размеров ДВС, поверхность корпуса была условно разделена решеткой 6×6 с шагом порядка 60 мм, в узлы которой последовательно устанавливался преобразователь ВАЭ. Пример фрагмента зафиксированного сигнала ВАЭ представлен на рис. 3.

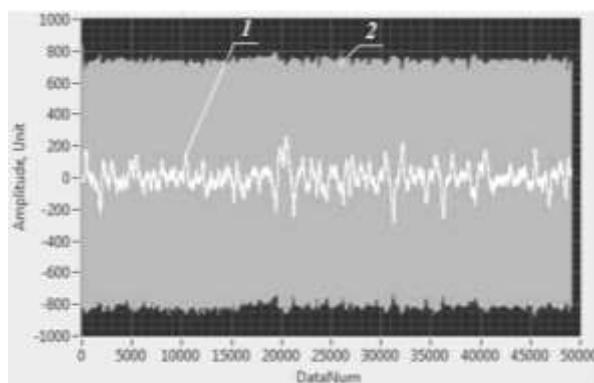


Рис. 3. Сигнал ВАЭ в одной из точек решетки измерений

Поскольку широкополосный преобразователь ВАЭ обеспечивает фиксирование в диапазоне от 2 Гц до 22 кГц, сигнал предварительно разделялся аппаратным фильтром на низкочастотную (до 100 Гц) и высокочастотную составляющие. Одновременно с фильтрацией компоненты сигналов усиливались с коэффициентами усиления 10 для низкочастотной и 100 – высокочастотной составляющих. При этом запись частотных компонентов осуществлялась отдельно. Принятые значения коэффициентов усиления обеспечивают нормирование низкочастотной 1 и высокочастотной 2 компонент сигнала при их одновременной записи (см. рис. 3).

Анализ полученных результатов

Обобщение результатов измерений выполнялось в следующем порядке.

1. Выделение в векторах сигналов каждого измерительного узла фрагмента длиной $N = 2^n$, где $n = 14, 15, 16$, начало которого совпадает с моментом впрыска топлива в первый цилиндр. Одинаковая длина векторов при каждом построении принималась для обеспечения постоянства мощности сигнала, а оценка влияния отклонений в последовательных циклах работы ДВС осуществлялась удвоением длины вектора.

2. Построение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) осуществлялось с методологией [1, 2] по которой были рассчитаны мощность амплитуд

$$P_k = |C_k| = \left\{ \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \right\}, \quad (1)$$

где A_k и B_k – амплитуды гармонических компонент действительной и мнимой частей Фурье-разложения векторов, соответственно, и частота

компонент сигнала

$$v_k = \frac{k}{T_{SR} \cdot N}, \quad (2)$$

где k – порядковый номер компоненты;

T_{SR} – период опроса в одном векторе, с.

3. Совместное представление АЧХ составляющих сигнала, в виду большей энергетической значимости низкочастотной, производилось суммированием по частотам без коррекции амплитуд.

4. Графическое изображение распределения мощности колебаний по поверхности корпуса ДВС выполнено в виде огибающей АЧХ узлов решетки измерения как

$$E = f(x, y, v), \quad (3)$$

которое представляет собой ВАК двигателя в заданном режиме работы.

Для визуализации виброакустической карты была разработана программа InGraph (рис.4), обеспечивающая построение графического образа в заданной частотной компоненте или заданном частотном диапазоне.

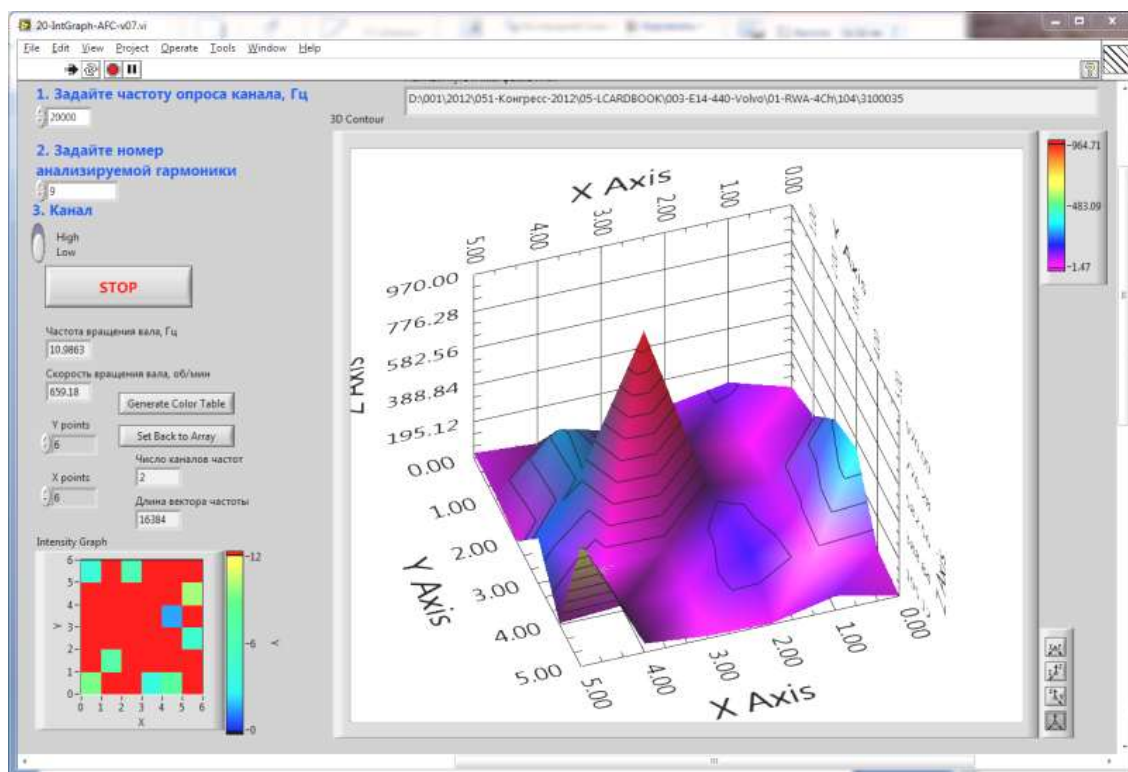


Рис. 4. Интерфейс программы InGraph

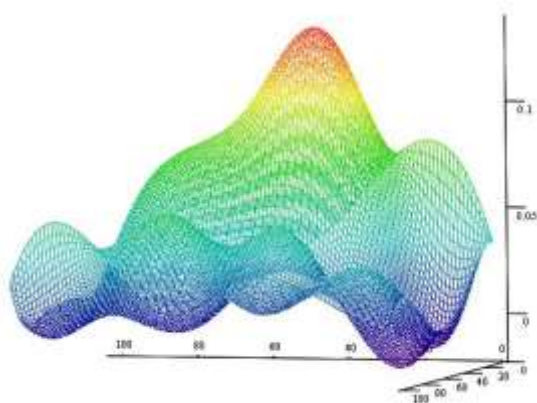
Виброакустическая карта, представленная на рисунке 4, построена для частотной компоненты 10.9863 Гц. Программа позволяет оперативно анализировать распределение интенсивности виброакустических колебаний по поверхности ДВС, но не обеспечивает возможность его представления в

виде гладкой поверхности.

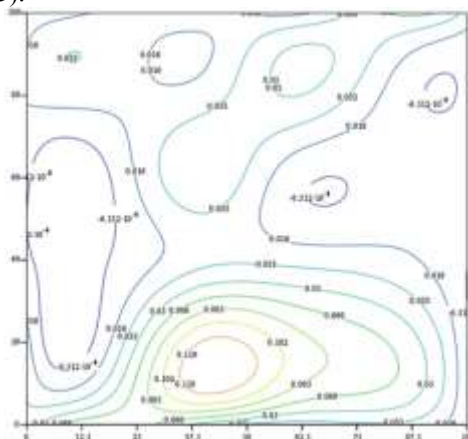
5. Построение гладких поверхностей для функции (3) было выполнено путем двухмерной интерполяции кубическим сплайном узловых значений. Интерполяция более требовательна к ресурсу вычислительной техники и затратам машинного времени, но обеспечивает более детальное пред-

ставление о распределении энергии колебаний

(рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Представление виброакустической карты ДВС в виде гладких поверхностей: а – трехмерный образ виброакустической карты; б – изолинии ВАК

Виброакустическая карта на (см. рис. 5) представлена в виде трехмерного образа и изолиний для всего зафиксированного частотного диапазона ВАЭ (0÷20 кГц). Данная диаграмма позволяет оценить распределение ВАЭ на поверхности корпуса двигателя.

6. Для выявления активных зон ВАЭ на корпусе целесообразно совмещать изолинии ВАК с контуром двигателя (рис. 6).

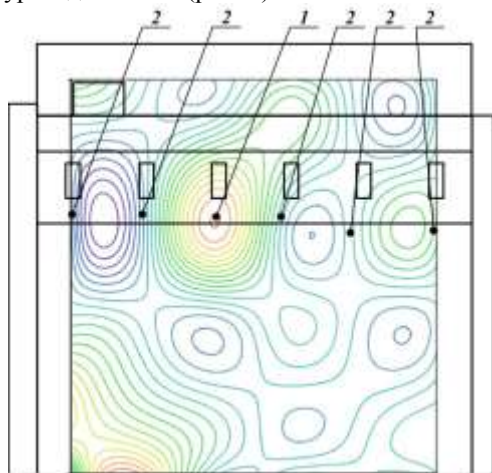


Рис. 6. Распределение активности ВАЭ по корпусу двигателя

При этом ВАК позволяет привязать активные зоны ВАЭ к конструктивным элементам и узлам двигателя. Так, на рис. 6 пик 1 соответствует топливному насосу высокого давления, а совокупность

минимумов 2 приходится на места установки форсунок, обладающая наибольшей конструктивной жесткостью.

Выводы

1. Разработанная методология оценки энергетического баланса колебаний двигателя путем построения виброакустических карт позволяет выделить зоны активности ВАЭ на исследуемом объекте, на этапе проектировки и доводки конструкции ДВС.

2. Анализ распределения энергии ВАЭ по частотному диапазону может быть использован для выявления наличия дефектов двигателей. Данная методика может быть рекомендована для диагностики ДВС.

Список литературы:

1. Марпл-мл, С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения [Текст]: пер. с англ. / С.Л. Марпл-мл. - М.: Мир, 1990. – 387 с. 2. Оксень, Е. И. Метод вибрационной диагностики системы зажигания двигателей внутреннего сгорания [Текст]/ Е. И. Оксень, Д. Е. Оксень // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – №1 – С. 136-140.

Bibliography (transliterated):

1. Marpl-ml, S.L. Cifrovoy spektral'nyy analiz i ego prilozheniya [Tekst]: per. s angl. / S.L. Marpl-ml. - M.: Mir, 1990. – 387 s. 2. Oksen', E. I. Metod vibracionnoj diagnostiki sistemy zazhiganiya dvigatelej vnutrennego sgoraniya [Tekst]/ E. I. Oksen', D. E. Oksen' // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – 2006. – №1 – S. 136-140.

Поступила в редакцию 23.05.2013

Оксень Дмитрий Евгеньевич – магистр, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт» Горловского автодорожного института Донецкого национального технического университета, Горловка, Украина, oxsen88@gmail.com, (066) 972 43 84.

Оксень Евгений Иванович – доктор техн. наук, профессор, зам. директора Горловского автодорожного института Донецкого национального технического университета, Горловка, Украина, dalar@rambler.ru, (050) 674 47 78.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ПОЛЯ В МЕХАНІЗМАХ

ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Оксень Д.Є., Оксень Є.І.

Наведено методологію оцінки енергетичного балансу коливань двигуна шляхом побудови віброакустичних карт. Вимірювання були виконані за допомогою цифрової фіксації сигналів модулем аналогово-цифрового перетворювача і п'єзометричних перетворювачів віброакустичної емісії. Для налаштування вимірювальної апаратури, запису і аналізу результатів було розроблено спеціальне програмне забезпечення. Виконано аналіз розподілу енергії віброакустичної емісії по частотному діапазону при роботі двигуна внутрішнього згоряння. Відзначено, що дана методика оцінки енергетичного балансу коливань двигуна може бути використана для виявлення наявності дефектів у процесі діагностики.

THE RESEARCH OF THE FORMATION OF VIBROACOUSTIC FIELDS IN THE MECHANISMS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

D.E. Oksen, E.I. Oksen

It is a methodology for assessing the energy balance of the engine vibrations by building vibroacoustic maps. The data acquisition made with a digital record of the signal by the analog-to-digital converter and the vibro-acoustic transducers of emission. To configure the test equipment, recording and analysis of the results the special software was developed. The analysis of the vibro-acoustic emission's energy distribution in the frequency range was performed. It's noted that this method of estimating energy balance vibration motor can be used to detect the presence of defects in the process of diagnosis.