

УДК 629.33(075.8)

СИСТЕМА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Штуро С.А. студент гр. 881971

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Стешенко П.П., канд. техн. наук.

Аннотация. В работе приведен анализ существующих методов виброакустической диагностики двигателей внутреннего сгорания. Приводится описание ряда систем для вибродиагностики механических устройств. Предложено разработанное устройство виброакустической диагностики двигателей.

Ключевые слова. Виброакустика. Диагностика. Двигатель. Датчики. Структурная схема. Печатная плата модуля.

Введение. Одним из основных актуальных направлений в области эксплуатации автотранспорта на сегодняшний момент является задача повышения надежности подвижного состава путем комплексной оценки состояния узлов на основе временного сбора диагностических параметров. Одним из перспективных методов технической диагностики является метод виброакустической диагностики, который позволяет при соответствующей регистрирующей аппаратуре обнаруживать развитие дефектов машин и механизмов на раннем этапе. Наиболее ответственным узлом транспортных средств является двигатель.

Виброакустическая диагностика – раздел технической диагностики, включающий теорию и методы организации процессов распознавания технических состояний машин и механизмов по исходной информации.

Виброакустическим сигналом обобщенно называют физические величины, характеризующие механические колебания (вибрационные, акустические, гидроакустические), сопровождающие функционирование технического объекта. При этом характеристики исследуемого сигнала, содержащие информацию о параметрах технического состояния объекта, принято называть диагностическими признаками состояния. Подсистема измерения предоставляет информацию о состоянии объекта в режиме функционирования, содержащуюся в виброакустическом сигнале. Она содержит первичные преобразователи виброакустических процессов в их электрические эквиваленты, усилители, нормализаторы, фильтры. Состав блока съема первичной информации включает многоканальные цифровые регистраторы, предназначенные для долговременного хранения информации в целях последующей оценки тенденции изменения технического состояния. Принятые сигналы с датчиков синхронно записываются во временном режиме в виде амплитудно-частотного спектра с последующей архивацией и дальнейшей детальной проработкой сигналов. Дальнейший анализ полученных сигналов возможен с использованием различных специализированных экспертных программ.

Основная часть. Существующие методы вибродиагностики заключаются в определении общего уровня механических колебаний, анализе спектров вибраций (анализ как самого спектра, так и его изменения во времени), волн колебаний, фазовых углов колебаний, спектров огибающей высокочастотной вибрации и др. Совокупный анализ этих параметров и сравнение с базовыми характеристиками, полученными экспериментально или на основе теоретических исследований, не только позволяет прогнозировать состояние узла, но и указывает на тип имеющейся неисправности [1].

Основные методы виброакустической диагностики:

1. Метод пик-фактора. Физическая основа метода проста - проводится сравнение общего уровня (обычно - среднеквадратичного значения сигнала (СКЗ)) вибросигнала со значением амплитуд выбросов (пиков).

2. Метод сравнения мощности сигнала в частотных диапазонах. Идея данного метода достаточно проста и заключается в том, что, выбрав необходимые диапазоны частот, нужно просто сравнить мощности сигнала, полученные с помощью пьезоакселерометра при текущем измерении с заданным уровнем мощности для заведомо исправного элемента устройства.

Практика мониторинга и анализа вибраций электродвигателей, насосов, компрессоров, мультипликаторов, редукторов и другого динамического оборудования показывает, что спектральный состав в низкочастотной области (ниже 1000 Гц, а иногда и до 3-5 кГц) может быть насыщен высокоуровневыми составляющими, не связанными с состоянием элемента устройства. Обеспечить диапазон измерений свыше 10 кГц, а чаще всего и выше 3-5 кГц, на реальном объекте практически затруднено. Следовательно, метод может быть применен только там, где на контролируемых элементах проведена соответствующая, достаточно тщательная подготовка мест установки вибродатчиков.

3. Метод диагностирования по спектру виброскорости. В этом методе предполагается использовать для диагностирования дефектов «обычные» спектры виброскорости.

Существует ряд систем для вибродиагностики механических устройств.

Система STD-2160 непрерывно (с интервалом не более 0,5 с) собирает и обрабатывает по 16 каналом. Из модуля STD-2160 через RS-485 интерфейс вся информация о состоянии оборудования передается на компьютер или в АСУ ТП для последующей обработки.

Основные преимущества системы на базе модуля STD-2160:

- в отличие от классических одноканальных виброключей со встроенными датчиками вибрации, использование многоканального модуля STD-2060 позволяет контролировать вибрацию именно в том месте, где это необходимо, так как виброакселерометры (IEPE или зарядовые) могут быть установлены практически в любом месте, максимально близко к источнику сигнала;

- система имеет встроенную аппаратно-программную защиту от сбоев питания (сохранение данных и конфигурации при нарушении питания);

- широкий рабочий температурный диапазон (от -40 до +50 °С).

Основные недостатки системы на базе модуля STD-2160 отсутствие встроенного дисплея;

- отсутствие встроенного дисплея

- отсутствие беспроводного интерфейса передачи данных;

- прикладное программное обеспечение поставляется отдельно.

Далее приводится описание комплекса «Магистраль» (ЗАО «Техтранс-Д», г. Санкт-Петербург) [5]. Он предназначен для автоматического диагностирования и прогнозирования технического состояния дизельных двигателей. Технические средства комплекса «Магистраль» организованы таким образом, чтобы максимально облегчить и упростить технологический процесс обследования дизеля, в том числе сократить длительность этого процесса.

Основным средством измерений вибрации являются виброметры с комплектом датчиков вибрации. Ниже рассмотрен виброметр CM-21 [6]. Преимущества CM-21 заключаются в том, что, данные приборы очень хорошо конкурируют с более дорогими приборами и они отлично подходят для ежедневной проверки технического состояния оборудования. Виброметр прост и легок в применении, имеет малые габариты. Удобный интерфейс прибора позволяет использовать его даже пользователям, не имеющим специальной подготовки.

Портативный малогабаритный виброметр ВК-5М [3] предназначен для измерения виброускорения, виброскорости и размаха виброперемещения, и позволяет проводить экспресс-оценку уровня вибрации любого работающего промышленного агрегата. Измеряет истинное среднеквадратическое значение виброскорости, размах виброперемещения,

Разработанное устройство представляет собой переносной диагностический комплекс для предварительной оценки состояния механизмов двигателей внутреннего сгорания по параметрам виброакустического сигнала. Устройство состоит из комплекта датчиков вибрации (4- канала), датчика частоты вращения, датчика температуры, датчика детонации, блока обработки и регистрации сигналов на 32-разрядном микроконтроллере и ПК (ноутбук), который подключается к блоку обработки и регистрации сигналов через интерфейс USB.

На основе серийных датчиков вибрации ДН-3 (предназначены для преобразования механических колебаний в электрические сигналы, пропорциональные ускорению колеблющегося объекта), датчика оборотов, индукционного датчика топливопровода высокого давления и звуковой карты. Для записи и обработки сигналов на начальном этапе взята за основу профессиональная программа Sound Forge, которая предназначена для записи результатов измерения и работы со звуками. Принятые сигналы с датчиков синхронно записываются во временном режиме в виде амплитудно-частотного спектра с последующей архивацией и дальнейшей детальной проработкой сигналов.

Дальнейший анализ сигналов возможен с использованием различных специализированных экспертных программ. Результаты исследований сигналов с ДВС с использованием данного устройства представлены в виде спектра сигналов в режиме реального времени (рисунок 1).

Система выполняет непрерывную регистрацию параметров вибрации по 4 контрольным точкам ДВС. Для полного анализа состояния двигателя выполняется измерение и регистрация температуры и частоты оборотов, контроль детонации. Данные сохраняются на встроенной SD карте памяти измерительного блока и могут быть считаны для последующей обработки на ПК через USB-порт.

Для экспресс-анализа в измерительном блоке предусматривается ЖК-дисплей для вывода мгновенных значений контролируемых параметров.

Структурная электрическая схема устройства представлена на рисунке 2.

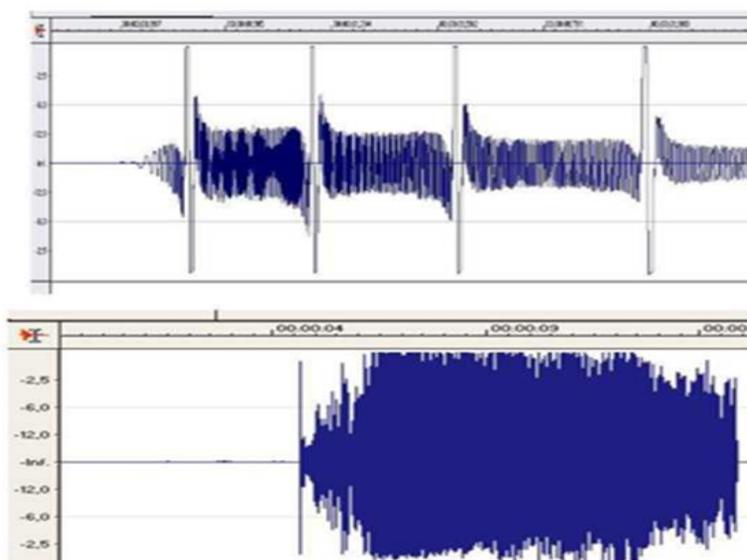


Рисунок 1 – Виды спектров сигналов вибродиагностики

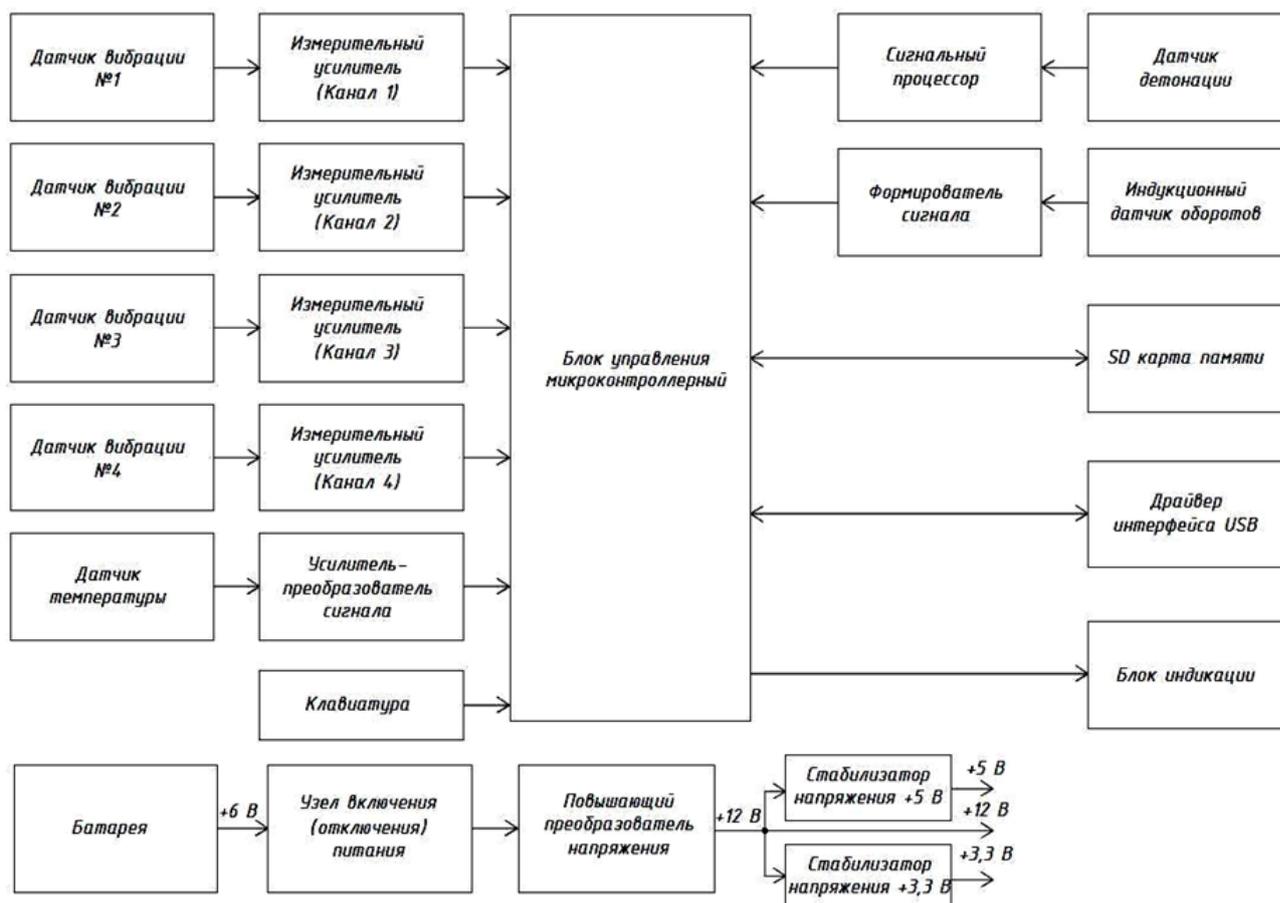


Рисунок 2 – Структурная электрическая схема устройства диагностирования двигателей

Для данной разработки выбран микроконтроллер STM32F103C8T6.

В качестве датчиков вибрации 1– 4 выбраны ДН-3-М.

Измерительный канал вибрации построен на базе двух операционных усилителей (ОУ).

Первый ОУ - входной согласующий усилитель, второй ОУ - интегрирующий усилитель. Для этих целей выбраны микросхемы TLV2472 (два ОУ в одном корпусе). Сигнальный процессор HIP9010 [3], предназначен для обнаружения момента, предшествующего моменту детонации в автомобильном двигателе. Работает с датчиком детонации BM1. Для доступа к ИМС используется SPI- шина (MOSI).

В качестве датчика детонации выбран BOSCH 0261231168. Для усиления и преобразования сигнала с датчика температуры TE1 (термопара тип К) используется микросхема AD8495 (DA5).

Алгоритм описывает последовательность выполнения операций в зависимости от действий пользователя и взаимодействия периферийных устройств с микроконтроллером. Алгоритм реализуется в программе микроконтроллера.

Разработанное устройство выполнено на печатной плате, которая крепится на стойках к задней стенке корпуса.

На лицевой панели корпуса устанавливается дисплей.

Для разработки печатного узла использовались САПР Proteus 8.10 и AutoCAD 2019.

Внешний вид модуля печатной платы представлен на рисунке 3.

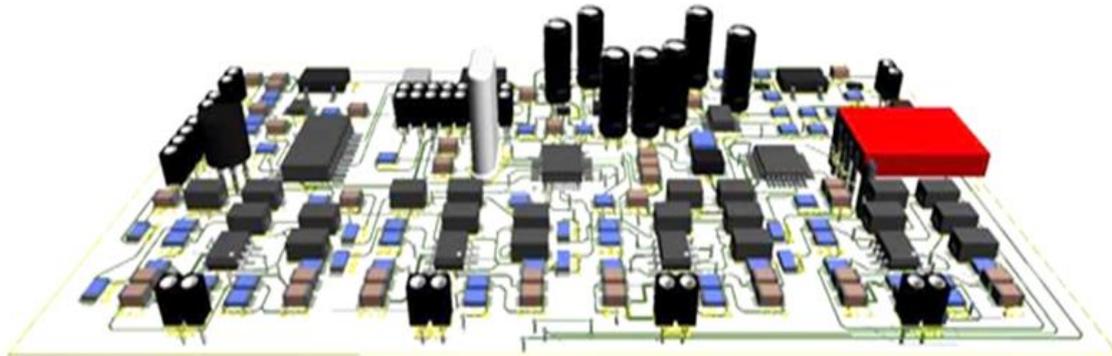


Рисунок 3 – Внешний вид модуля печатной платы

Заключение. Применение унифицированных материалов в конструкции, ограничение номенклатуры применяемых деталей позволило уменьшить себестоимость разрабатываемого изделия, улучшить производственную и эксплуатационную технологичность. По результатам технико-экономического обоснования производство системы является эффективным.

К достоинствам разработанного устройства следует отнести низкую трудоемкость метода виброакустической диагностики при её использовании и мобильность. Система работает с датчиками серийного производства и построена на доступных электронных компонентах. Применение данного устройства и системы позволяют выполнять более углубленную и качественную диагностику различных механизмов ДВС с применением прикладных экспертных программ.

Список использованных источников:

1. Контроль технического состояния мобильных машин по вибрационным параметрам [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=9337>
2. Измеритель вибрации [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://edrid.ru/en/rid/216.013.1242.html?page=7>
3. Сигнальный процессор обнаружения детонации в двигателе внутреннего сгорания HIP9010AB [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://kit-e.ru/dsp/signalnyj-procressor-obnaruzheniya-detonaczii-v-dvigatele-vnutrennego-sgoraniya-hip9010ab/>

UDC 629.33(075.8)

SYSTEM OF VIBRO-ACOUSTIC DIAGNOSIS OF ENGINES

Shturo S.A. student gr. 881971

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Steshenko P.P. – PhD in Technical Sciences, associate professor

Annotation. The paper presents an analysis of the existing methods of vibroacoustic diagnostics of internal combustion engines. The description of some systems for vibration diagnostics of mechanical devices is given. The developed device for engines vibroacoustic diagnostics is proposed.

Keywords. Vibroacoustics. Diagnostics. Engine. Sensors. Structural scheme. Module