

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЕДУЩИХ МОСТОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А.А. Скворцов¹

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,
426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7*

Рассматривается аппаратное обеспечение системы виброакустического диагностирования технического состояния ведущего моста заднеприводных легковых автомобилей, которое дает возможность определения текущего технического состояния этого агрегата и прогнозирования остаточного его ресурса.

Ключевые слова: система виброакустической диагностики, стенд, ведущий мост

THE SYSTEM HARDWARE VIBROACOUSTICAL DIAGNOSTICS OF THE LEADING AXLES OF THE CARS

A. A. Skvortcov

*Izhevsk state technical university of a name of M.T. Kalashnikov,
426069, Udmurt Republic, Izhevsk, Studencheskaya St., 7*

The hardware of vibroacoustic diagnostic system of technical condition of car drop axles, which is given ability to determinate the real technical conditions and forecast the remaining life of unit are presented.

Keywords: vibroacoustic diagnostic system, stand, drop axle.

Ведущий мост автомобиля является важным агрегатом при передаче вращающего момента от двигателя к колесам. Агрегаты трансмиссии должны функционировать во всех режимах эксплуатации автомобиля. Потеря работоспособности ведущего моста приводит к потере работоспособности автомобиля в целом. В связи с этим, к техническому состоянию ведущего моста необходимо предъявлять повышенные требования, а также необходимо вести систематический мониторинг, дающий четкое представление о его текущем техническом состоянии и возможности прогнозирования наступления отказа [1].

Современный уровень развития элементной базы диагностических средств позволяет ставить проблему разработки таких средств диагностики ведущих мостов автомобилей, которые с одной стороны, давали бы более достоверную информацию о техническом состоянии агрегата, а с другой стороны – были бы дешевле существующих на данный момент

систем диагностирования и не требовали бы больших временных затрат на диагностику. Средства диагностики должны обеспечивать возможность прогнозирования наступления отказов ведущих мостов автомобилей в процессе их эксплуатации.

В настоящее время в ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова" ведутся работы по созданию средств диагностики и выполнению прикладных научных исследований по отработке методики проведения диагностики, которые базируются на виброакустической оценке дефектов ведущих мостов автомобилей.

Виброакустическая диагностика (ВАД) является одним из основных и наиболее перспективных разделов технической диагностики, обеспечивающих оперативный контроль параметров текущего состояния агрегатов автомобиля в процессе эксплуатации без их демонтажа. Физическим носителем информации о состоянии узлов агрегата является виброакусти-

ческий сигнал – собирательное понятие, включающее информацию о колебательных процессах (вибрационных, гидро- или газодинамических и пр.) в самом механизме и в окружающей среде [2].

Аппаратному обеспечению в процессе виброакустического диагностирования отводится одна из решающих ролей, потому как именно средства диагностирования – приводы, анализаторы, преобразователи, устройства, создающие определенные (имитирующие) условия проведения диагностирования, – оказывают решающее значение на постановку диагноза, его объективность и адекватность.

Стенд для виброакустической диагностики ведущих мостов легковых автомобилей состоит из трех основных частей: приводной, измерительной и нагружающей. Рассмотрим подробнее каждую из составных частей.

Приводная часть – это часть, приводящая в движение объект исследования (ведущий мост легковых автомобилей). Основные составные элементы представлены на рис.1: электродвигатель, ременная передача, шпиндель, станина, электрический блок, пневмосистема, устройство для закрепления объектов исследования.

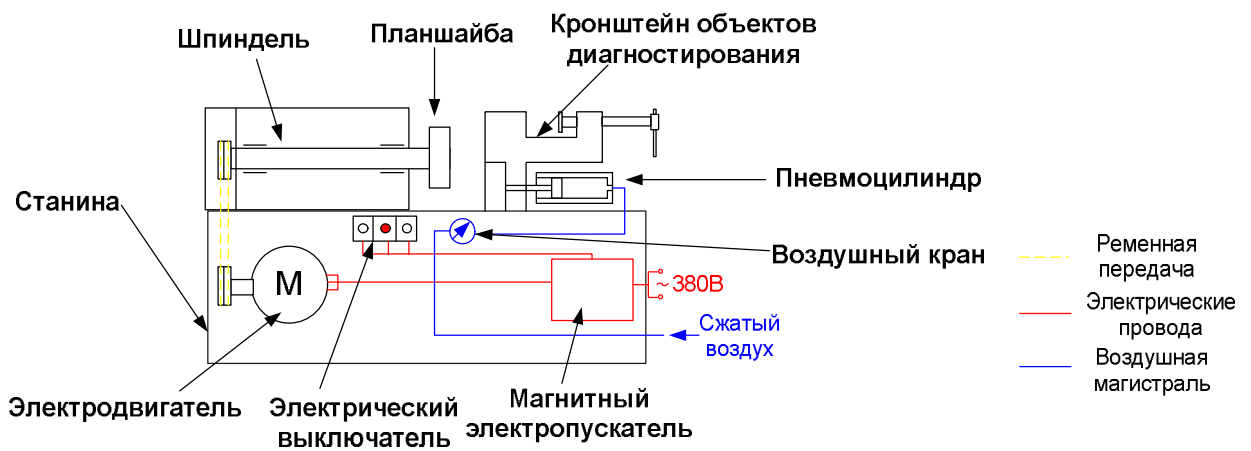


Рисунок 1. Приводная часть стенда виброакустической диагностики ведущих мостов легковых автомобилей

Электродвигатель асинхронный питается от напряжения 380 В, 50 Гц. Максимальная частота вращения 1490 об/мин, потребляемая мощность 3,5 кВт. Двигатель вмонтирован в основание станины стенда, имеет устройство для натяжения ремней ременной передачи, выполненное в виде продольных салазок.

Ременная передача состоит из двух параллельных ремней. Ремни клиновидной формы профиля.

Шпиндель представляет собой полнотелый вал, установленный на двух шарикоподшипниках в передней бабке стенда. На одном конце шпинделя установлен двухручейный шкив ременной передачи, на другом – планшайба, предназначенная для соединения с объектом исследования. Шпиндель смазывается разбрызгиванием с помощью специальных колец, установленных на нем.

Станина представляет собой монолитную конструкцию, выполненную в виде стола.

На одной из тумб стола крепится электродвигатель, на другой – магнитный электропускатель. Столешница представляет собой металлическую плиту толщиной $S = 100$ мм. На столешнице имеются монтажные отверстия для передней бабки и устройств закрепления объектов диагностирования. Общая масса станины превышает 500 кг.

Электрический блок состоит из: выключателя, магнитного пускателя, инвертора, позволяющего изменять частоту вращения шпинделя, и соединительных проводов. Выключатель расположен на лицевой части станины и имеет три кнопки: «Вперед», «Назад» и «Стоп». Вращение шпинделя начинается нажатием кнопки «Вперед», кнопкой «Назад» включается реверсивное движение, нажатием кнопки «Стоп» вращение останавливается. Магнитный пускатель расположен на тумбе станины, обеспечивает питание электродвигателя, является ис-

полнительным агрегатом электрического блока стенда.

Таблица 1. Технические характеристики инвертора (преобразователя частотного) TOSHIBA

Параметры	Технические характеристики
Система управления	Широтно-импульсное модулирование выходного синусоидального тока.
Номинальное выходное напряжение	Регулируется в пределах 100 – 120 % от скорректированного входного напряжения питания (200В).
Диапазон выходной частоты	От 0.5 до 200Гц, значение по умолчанию - от 0.5 до 80Гц; Настройка максимальной частоты в диапазоне 30 – 200 Гц.
Минимальные интервалы настройки частоты	0,1 Гц – с панели управления; 0,2 Гц: с аналогового входа (для максимальной частоты 100Гц).
Погрешность выходной частоты	Цифровое задание: +0.5% от максимальной частоты (-10 – +15°C) Аналоговое задание: +1.0% от максимальной частоты (25°C + 10°C)
Характеристики напряжения / частоты	$V/f = \text{const}$, бессенсорное векторное управление, коррекция частоты скольжения, задание характеристик подъема момента.
Источник управления частотой	Встроенный потенциометр, внешний потенциометр (подключаемый потенциометр с сопротивлением от 3 до 10кОм), терминал VI/S3 (входное сопротивление 42 кОм (напряжение: 0 – 10В или ток 4 – 20 мА). Характеристики управления могут быть заданы произвольно с помощью настройки зависимости по 2-м точкам.
Стартовая частота/ Частота обхода резонанса	Настраивается в диапазоне 0,5 – 10 Гц. / Частота и ширина скачка настраиваются
Несущая частота ШИМ	Можно выбрать из ряда 2, 4, 8, 12 и 16 кГц (по умолчанию – 12 кГц).
Время разгона / торможения	0,1 – 3000 с, можно выбирать один из двух наборов времен разгона / торможения.
Торможение постоянным током	Стартовая частота торможения: от 0 до максимальной частоты, ток торможения – от 0 до 100%, время торможения – от 0 до 20 с.
Операция рестарта (сброса аварии)	Количество повторных запусков (макс. 10 раз). Если активируется функция защиты, функция рестарта перезапускает инвертор после проверки его силовой цепи.
Предустановленные скорости	Возможен выбор из 8 предустановленных скоростей.
Функции входных терминалов	Для каждого из 5 входных терминалов возможен выбор из 58 функций, таких как сигнал прямого /обратного вращения, сигнал толчковой работы, сигнал ожидания, работы на предустановленной скорости, сброса и т.д. (Возможен выбор между типом логики сигналов для каждой из функций).
Функции выходных терминалов	Для выходного терминала с открытым коллектором или релейного выхода возможен выбор из 14 функций, таких как сигналы достижения нижней и верхней границ частоты, обнаружения низкой скорости, сигнала разгона до определённой скорости.
Сигнал обнаружения аварии	Релейный выход на переключение (тип 1С): Нагрузка на контакты: ~250В – 2А –cos $\varphi=0,4$.
Выход для внешнего измерителя	Выходной аналоговый терминал для подключения измерительного прибора. (Амперметр постоянного тока со шкалой на 1мА или вольтметр постоянного тока со шкалой на 7,5 В).
Функции защиты	Предотвращение останова, ограничение тока, защита от перегрузки по току инвертора и двигателя (электронная термозащита), к.з. выхода, перенапряжение, понижение напряжения питания, обрыв «земли», обрыв фазы питания, обрыв фазы на выходе, перегрузки двигателя при старте, перегрева, обрыв входного аналогового сигнала.
Защита от кратковременного исчезновения питания	Автоперезапуск / подхват скорости вращающегося двигателя после кратковременного исчезновения напряжения питания.

Для управления электродвигателем на стенде установлен инвертор (частотный преобразователь) TOSHIBA, основные технические

характеристики которого приведены в таблице 1. При этом управление осуществляется с помощью ручки потенциометра или при помощи

кнопок управления, расположенных на панели инвертора. Для защиты от перегрузок и для включения питания на стенде предусмотрен защитный автомат, который установлен под инвертором. Соединительные провода коммутируют элементы блока, источник питания и электродвигатель.

Пневмосистема состоит из кранов, рабочих цилиндров и соединительных магистралей. Краны осуществляют пропуск сжатого воздуха через соединительные магистрали к рабочим цилиндрам. Рабочие цилиндры через систему рычагов закрепляют объекты диагностирования. Устройство закрепления объектов диагностирования дают возможность закреплять объекты двумя способами: крепление редукторов мостов с помощью пневмоцилиндров и крепление мостов целиком с помощью зажимов.

Измерительная часть (рис. 2) предназначена для измерения виброакустических характеристик объектов диагностирования.

Измерительная часть состоит из: измерительного датчика – акселерометра, вмонти-

рованного в корпус, коммутатора, соединительных проводов и ноутбука со звуковой картой.

Измерительный датчик представляет собой вмонтированный в пластиковый корпус акселерометр марки LIS344AL. Механические и электрические характеристики акселерометра представлены в таблицах 2 и 3. Данный акселерометр представляет собой микросхему в герметичном корпусе размерами $4 \times 4 \times 1,5$ мм, распределительной платы, позволяющей подсоединять акселерометр к компьютеру, а также осуществлять питание акселерометра. На балки, зафиксированные на подложке, подаются электрические сигналы – прямоугольные импульсы различной полярности в противофазе.

При отсутствии ускорения смещение механики отсутствует и емкости равны, поэтому выходной сигнал переменного напряжения, снимаемый с подвижной пластины, также практически равен нулю (всегда присутствует малое ненулевое смещение). При наличии ускорений баланс емкостей нарушается и появляется переменный сигнал.

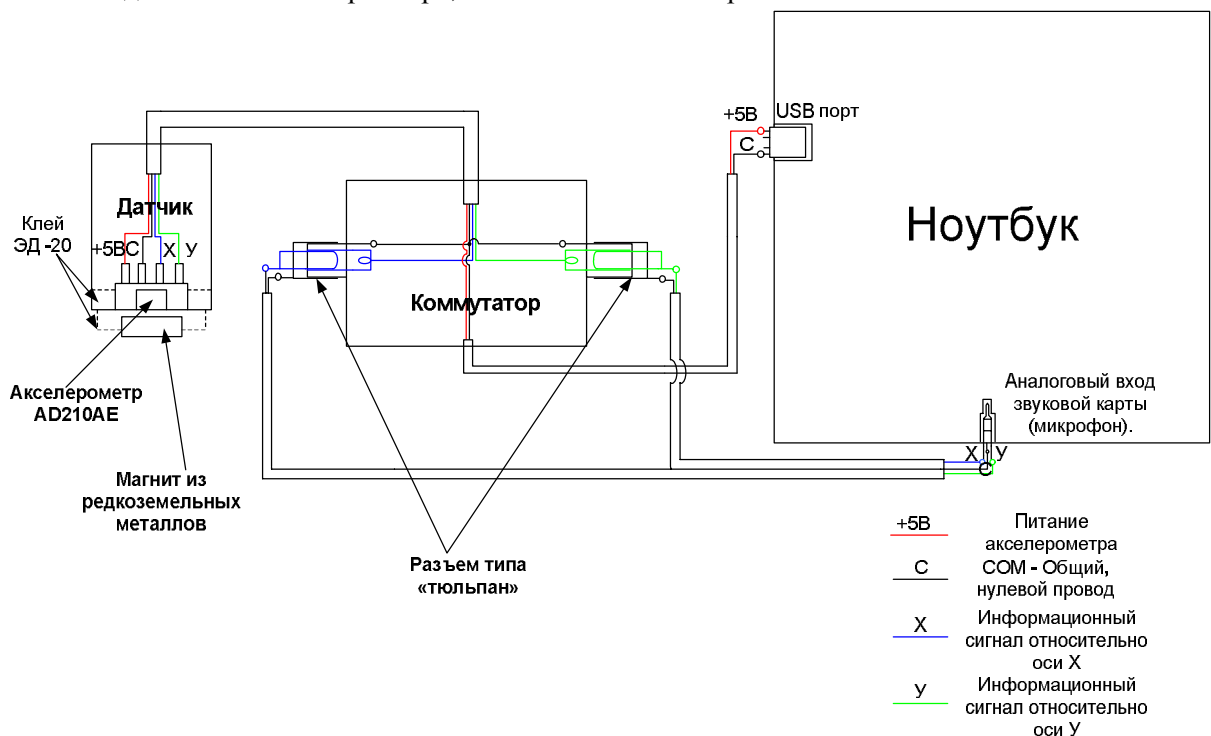


Рисунок 2. Измерительная часть стенда для виброакустической диагностики ведущих мостов легковых автомобилей

Датчик имеет сложную систему подключения (рис. 3). На выходе сигналов ставятся фильтры, состоящие из диодов и конденсаторов. При подключении питания к датчику напряжение также фильтруется конденсатора-

ми. В нашем исследовании использовались только два выходных сигнала (X и Y).

Датчик вмонтирован в пластиковый корпус с помощью эпоксидного клея (ЭД-20),

что обеспечивает надежную заделку датчика и отсутствие демпфирования датчика.

Таблица 2. **Механические характеристики акселерометра LIS344AL** (все параметры определены для $V_{dd}=3.0\text{ В}$, $T=25^{\circ}\text{C}$, если не указано иное)

Наименование параметра	Обозначение единицы измерения	Условия измерения	Мин. значение	Среднее значение	Макс. значение
Ускорение, g	Ar			$\pm 3,5$	
Чувствительность, В/g	So		$0.100 \cdot V_{dd} - 10\%$	$0.100 \cdot V_{dd}$	$0.100 \cdot V_{dd} + 10\%$
Изменение чувствительности от температуры, %/ $^{\circ}\text{C}$	SoDr	Изменения от $+25^{\circ}\text{C}$		0.01	
Уровень потери чувствительности, В	Voff	$T = 25^{\circ}\text{C}$	$V_{dd}/2 - 15\%$	$V_{dd}/2$	$V_{dd}/2 + 15\%$
Изменение уровня потери чувствительности от температуры, mg/ $^{\circ}\text{C}$	OffDr	Изменения от $+25^{\circ}\text{C}$		± 0.7	
Нелинейность, % FS	NL	Идеальный результат-прямая		± 0.6	
Взаимное влияние осей, %	CrossAx			± 2	
Плотность виброускорений	An $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	$V_{dd}=3.0\text{ В}$		275	
Резонансная частота чувствительного элемента	Fres KHz	X, Y, Z axis	2.0		
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	Top		-40		+80
Вес датчика, гр	Wh	0,040			

Таблица 3. **Электрические характеристики акселерометра LIS344AL** (все параметры определены для $V_{dd}=3,0\text{ В}$, $T=25^{\circ}\text{C}$, если не указано иное)

Наименование параметра	Обозначение	Мин. значение	Сред. значение	Макс. значение
Напряжение, В	Vdd	2,7	3,0	3,3
Сила тока, мА	Idd		0,69	
Выходное сопротивление VoutX, VoutY, VoutZ, кОм	Rout		32	
Емкость под нагрузкой для VoutX, VoutY, VoutZ, нФ	Cload	2,5		

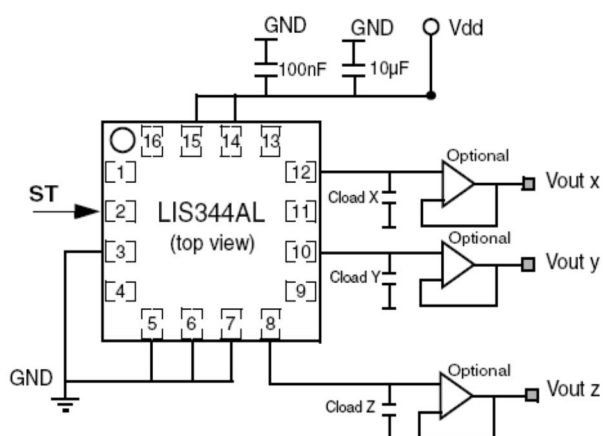


Рисунок 3. **Схема электрического подключения датчика LIS344AL и пространственная ориентация осей**

Датчик прикрепляется к объекту диагностирования с помощью специального магнита из редкоземельных металлов, который дает надежное крепление датчика, за счет чего повышается точность эксперимента и помехозащищенность сигнала. Магнит также приклеен к наружной поверхности корпуса.

Коммутатор представляет собой пластиковую коробку размерами $100 \times 100\text{ мм}$, внутри которой расположены соединения проводов.

Соединительные провода состоят из двух ветвей: ветвь питания и информационная ветвь. По ветви питания от USB порта ноутбука подается питание на акселерометр через ком-

мутатор. По информационной ветви информационный сигнал идет от датчика к звуковой карте ноутбука.

Снятие виброакустических характеристик и обработка их производилась с помощью специализированного программного обеспечения, фирмы PowerGrath.

Назначение ПО «PowerGraph»:

- сбор данных с различных измерительных устройств и приборов;
- регистрация, визуализация и обработка сигналов в режиме реального времени;
- редактирование, математическая обработка и анализ данных;
- хранение, импорт и экспорт данных.

Функциональные возможности ПО «PowerGraph»:

1. поддержка различных устройств сбора данных;
2. регистрация данных;
3. визуализация данных;
4. редактирование данных;
5. обработка данных;
6. анализ данных;
7. печать данных;
8. файлы, экспорт и импорт данных;
9. дополнительные утилиты.

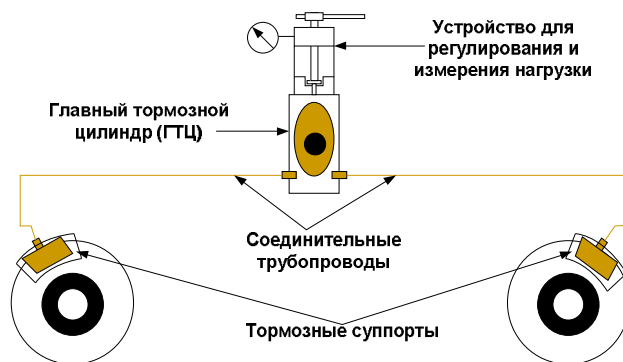


Рисунок 4. Нагружающая часть стенда для виброакустической диагностики ведущих мостов легковых автомобилей

Нагрузочная часть стенда представляет собой штатные дисковые тормозные механизмы, используемые в автомобиле. Нагрузочная

часть (рис. 5) состоит из: рабочих тормозных элементов – суппортов, главного тормозного цилиндра (ГТЦ), устройства, позволяющего торрировать тормозные усилия (в нашем случае нагрузку), и соединительных магистралей.

Выводы

Использование комплекса оборудования, предложенного в статье, дает возможность реализовать метод диагностирования технического состояния ведущих мостов легковых автомобилей, который с одной стороны дает возможность получения более достоверной информации о техническом состоянии агрегата, а с другой стороны – является более дешевым, по сравнению с существующими на данный момент системами диагностирования и не требует больших временных затрат на диагностику.

Рассмотренные в статье средства измерения дают возможность не только оценивать текущее техническое состояние агрегата, но и, благодаря возможности накопления информации в блоке долговременной памяти, прогнозировать наработку агрегата до наступления отказа.

Алгоритмы работы оборудования, рассмотренные в статье, могут быть реализованы в виде одного из модулей бортовой системы диагностирования автомобиля, который бы позволял оператору, управляющему автомобилем, получать актуальную информацию о текущем состоянии агрегата.

Литература

1. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов/ Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. М.: Наука, 1984. – 120 с.
2. Генкин, М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов/ М. Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

¹ Сковрцов Антон Алексеевич – аспирант 2-го курса специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова, моб.: +7 (904) 839 81 00, e-mail: anton.skvorcov@mail.ru