

УДК 62.799

**ОЦЕНКА ВИБРОАКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМОВ  
В ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ****С. И. МИДУШКИН***(Представлено: канд. техн. наук Г. А. ВЕРЕМЕЙ)*

*Теоретически исследована физика процесса вибрационных отображений технического состояния агрегатов автотранспортных средств при их диагностировании. Представлены перспективный виброакустический метод выявления виброактивности механизмов и её анализ с помощью стенда практической диагностики «Дельфин 1М».*

**Введение.** Диагностические свойства вибраций и их измерительное устройство в виде стетоскопа или фонендоскопа известны и применяются в технической эксплуатации автомобилей давно. При этом анализирующим устройством является ухо и мозг человека [1].

Как известно из теории разрушений, ранние стадии развития дефектов конструкции проявляются сначала в недоступной для восприятия ультразвуковой области виброакустических излучений. И только при развитии дефекта до макроскопических размеров, частоты излучений понижаются до значений, воспринимаемых человеческим ухом. Из механики разрушений известно, что повреждение любой материальной конструкции начинается на кристаллическом и молекулярном уровнях, и развивается в виде множества цепочек последовательных повреждений элементов конструкции и функциональных систем [2]. В зоне поражения на поверхности или внутри материала изменяется плотность, магнитные, оптические, электрические свойства и т. д.

Микроскопическое поверхностное или объемное повреждение механически напряженной конструкции проявляется, в частности, в виде генерации ультразвуковых деформационных волн - акустической эмиссии. Детектируемая часть ультразвуковой волновой энергии ничтожно мала по сравнению с энергией шума работающего механизма и органолептическая диагностика с помощью уха и мозга малоэффективна, и имеет высокий процент субъективности при постановке диагноза. Поэтому, посылаемые дефектом сигналы, могут быть зарегистрированы специальной аппаратурой, поскольку обычные технологические шумы концентрируются в низкочастотной области энергетического спектра.

Сходная по физической сущности спектральная картина наблюдается при кратковременных ударных воздействиях. Такие ситуации в механических конструкциях возникают при увеличении зазоров или при плохой смазке деталей взаимодействующих кинематических пар, например, вследствие износа подшипников кривошипно-шатунного механизма.

На сегодняшний день существуют два подхода к проблеме вибраций. С одной стороны – это неизбежное побочное явление нормально функционирующего механизма. На возбуждение вибраций расходуется часть полезной энергии, непреднамеренно проявляющейся как источник дополнительных динамических нагрузок на конструкцию, как дестабилизирующий и провоцирующий фактор. Данные по виброактивности широко используется для виброзащиты или принятия других мер по упреждению функциональных отказов [3]. После устранения дефекта вибрации обычно существенно ослабевают. Это указывает как на корректность диагноза, так и на достаточность выполненных работ.

С другой стороны, вибрации – носители уникальной информации. Для специалиста вибрации - ценный и объективный показатель технического состояния механизма. Структуры вибраций указывают на свое происхождение и тем самым демаскируют дефект. По скорости реакции на любые изменения состояния вибрациям нет равных среди других сопровождающих физических явлений [5].

В технической эксплуатации автомобилей явление вибраций сопровождает работу: зубчатых передач, роторных и поршневых механизмов, подшипников скольжения и качения [4].

**Методика исследования.**

1. *Зубчатые передачи.* Зубчатые механизмы применяются для изменения скоростей и направлений вращательного движения (коробки передач, редукторы, мультипликаторы). В случае отсутствия нормативов по допустимой виброактивности конкретных зубчатых механизмов пользуются следующими критериями [7]:

1) для полосы частот 60-600 Гц по формуле:

$$U = 25 \sqrt{\frac{600}{\text{частота вращения (об/сек)}}} \quad (\text{дюйм/сек}) \quad (1)$$

2) для коробок скоростей предельное допустимая вибрация - 7,5 мм/сек.

Диагностика шестеренчатых и реечных механизмов осуществляется по имеющим место проявлениям на оборотных частотах валов и сопряжениях зубьев, а также по их комбинациям (табл. 1).

Таблица 1. – Признаки повреждения зубчатых зацеплений

Дефект	Демаскирующий признак
1. Большой боковой зазор в зацеплении	Большая дисперсия на оборотной и удвоенной оборотной частотах. Ударное вхождение зубьев в зацепление на частоте, равной произведению оборотной частоты на количество зубьев.
2. Перекос осей	Гармоники оборотной частоты до 10 включительно.
3. Осевое смещение	Гармоники оборотной частоты более 10
4. Плохая смазка в зацеплении	Увеличенные амплитуды на субгармониках половины оборотной частоты
5. Общий абразивный износ	Кратные частоты зубчатого зацепления
6. Трещины в корнях зубьев	Периодические удары при вхождении поврежденного зуба в зацепление; их количество на 1 оборот равно количеству поврежденных зубьев
7. Зазедание рабочих поверхностей	Нерегулярные выбросы амплитуд

2. *Вращающиеся детали.* К ним относится большой класс устройств, в корпусах которых (статор) на подшипниках закреплен вращающийся узел (ротор). В рабочем пространстве между ними происходит превращение одного вида энергии в другой вид. В автомобиле типичными представителями роторных механизмов являются компрессоры, насосы, центробежные воздушные фильтры и маслоочистители, гидроусилители руля, коленвал с маховиком, распредвал, генератор эл. тока и т. д.

При диагностировании роторных механизмов (турбины, лопаточные насосы и компрессоры с присоединенными к ним электродвигателями или электрогенераторами и т. д.), объектами внимания являются осевая центровка и балансировка валов, степень радиальной симметрии сил газодинамического, гидродинамического и электромагнитного происхождения и т. д.

Диагноз ставится путем сравнения траекторий между собой с учетом углового положения «бьющих точек». Площадь внутри траектории за один оборот ротора характеризует дисбаланс, а изрезанность формы – состояние цапф и подшипников (рисунок 1, а).

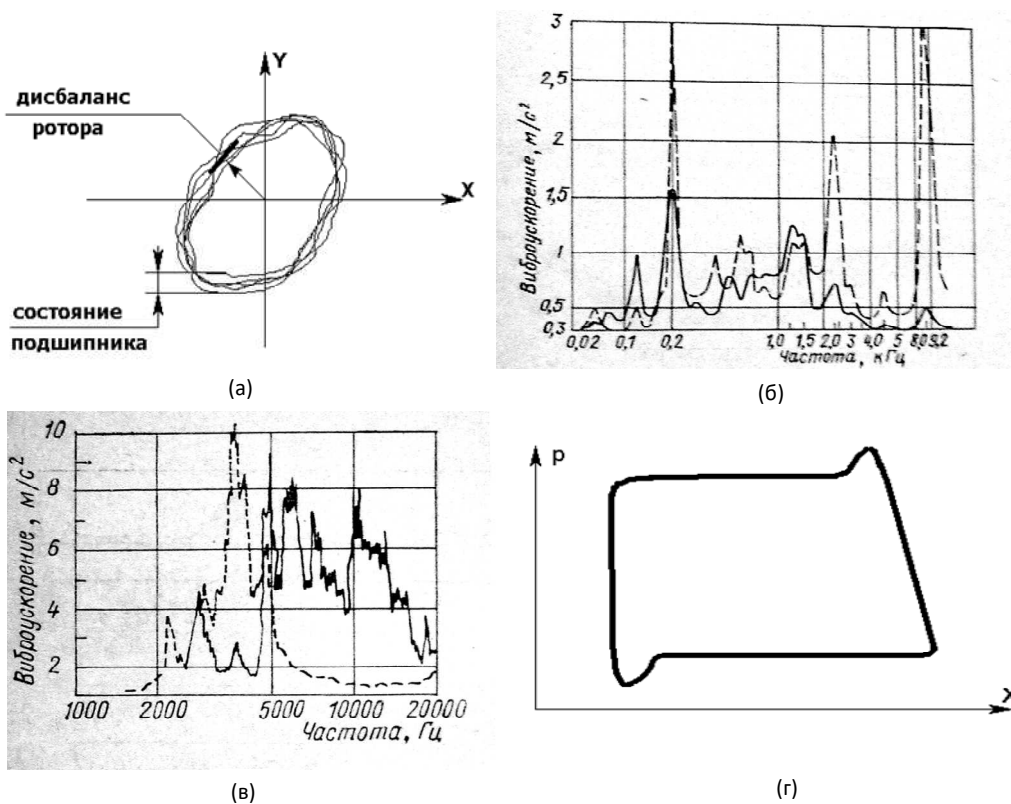


Рисунок 1. – Траектория опоры подшипника (а), зависимость спектра вибраций от явления наклёпа на кольце поршня (б), зависимость спектра частот вибраций от неисправности первого поршневого кольца (в), диаграмма «давление-ход поршня» при «газировании» топлива (жидкости)(г)

3. *Поршневые механизмы.* Для поршневых механизмов со скоростью вращения до 7 об/сек нормируют виброперемещения корпуса, которые определяют по формуле

$$A = 0,125 \cdot D + 0,089, \quad (2)$$

где  $D$  – расстояние от точки замера до линии оси кривошипа (мм).

Этой формулой пользуются для оценки допустимости виброперемещений двигателя в целом относительно моторного отсека.

При диагностике поршневых насосов и компрессоров (рис. 1, б, в) основные виброимпульсные возмущения возникают на переходных режимах (открытие и закрытие клапанов, выравнивание давлений, попадание газов в жидкую среду, например, вследствие неплотностей или кавитации и т. д.). Относительно медленное нарастание давлений при перекачке газов может вызывать нестабильность расчетных времен срабатывания клапанов. Эффективные диагностические признаки можно получить путем анализа форм различных диаграмм, построенных на базе измерительных данных (например, давления  $p$  и хода поршня  $x$ , (рис. 1, г).

Для оценки состояния каждой группы механизмов составлены соответствующие нормативы допусков, как правило, на основе спектрального анализа вибраций в определенных точках конструкции и определенных режимах эксплуатации [7]. Нормирование производится в частотных диапазонах в виде среднеквадратических и пиковых значений виброускорений ( $m/s^2$ ), виброскорости (мм/с) или виброперемещений (мкм). Обычно нормируют скорость при вибрационном движении, реже - ускорение. Скорость является устойчивым параметром. При неизменной энергии колебаний она не зависит от частоты вращения или амплитуды колебаний.

**Экспериментальная часть.** Практическое применение теоретического исследования физики вибрационной активности механизмов представлено за счёт реализации виброакустического метода оценки состояния автомобильных агрегатов и последующего анализа полученных результатов на базе стенда виброакустической диагностики «Дельфин 1М» [5, 6].

Методика проведения эксперимента заключается:

- в регистрации вибрационных волн при последовательном расположении пьезоэлектрических датчиков тангенциально и по нормали к головке блока работающего двигателя автомобиля;
- локализации характерных эпицентров и осцилляторов вибрационных возмущений;
- проведении спектрального анализа полученных результатов;
- оценке допустимости виброактивности по нормативам стандарта VDI-2056 (табл. 2);
- определении вида возможных присутствующих дефектов (рис. 2);
- постановке диагноза технического состояния объекта.

Таблица 2. – Спектральные области проявления дефектов

Частота (Гц)	Излучатель	Частота (Гц)	Излучатель
3-7	Крепление двигателя	1500-1700	Рокер изношен
6-9	Распредвал, бензонасос	1500-2000	Распредвал
14-17	Коленвал, выжимной	1600-2500	Инжектор моно включен
27-35	Толчки рабочих ходов	1600-3000	Коленвал (собственные)
45-75	Маслонасос	2000-4000	Масляное голодание валов
70-120	Регулировка клапанов	2500-4000	Поршень (в середине)
30-200	Генератор	2500-4500	Форсунка дизеля
250-300	Цепь, натяжитель	2600-4700	ТНВД
500-1000	Коренные подшипники	3000-5000	Форсунка бензиновая
1000-2000	Коленвал (зазоры)	3500-5000	Вой помпы, натяжителя
1150-1250	Крепление стартера	4000-5000	Гильза
1200-1400	Выхлопной коллектор	4000-7000	Компенсатор, клапан
1200-3000	Поршень (верхняя перекладка)	7000-8000	Детонация
1200-3500	Шатун, верх	6000-12000	Поршневой палец, кольца
1400-2000	Зазор шатуна внизу		

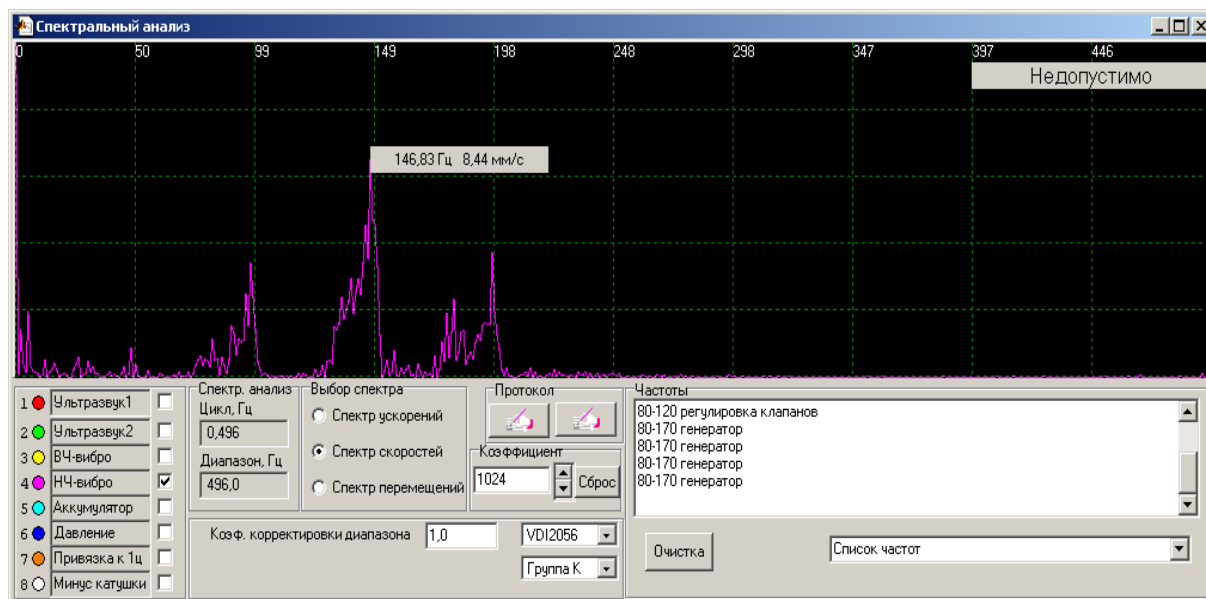


Рисунок 2. – Оценка допустимости по стандарту VDI-2056

#### Выводы:

1. Вибрационная активность механизмов является ценным и полезным источником информации при постановке диагноза в технической эксплуатации автомобилей.

2. Внедрение виброакустического метода позволяет избежать органолептических способов и реализовать высокоэффективную методику оценки технического состояния объекта в практической диагностике автомобилей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987
3. Карасев В.А., Ройтман А.Б. Доводка эксплуатируемых машин. Вибродиагностические методы. – М.: Машиностроение, 1986
4. Диагностика автотракторных двигателей / Под ред. Н.С. Ждановского, Л.: Колос, 1977
5. Коновалов А.И. Практика вибро-акустической диагностики. Диагностируем на «Дельфине». – Луганск: ЗАО Циклон, 2007. – 69 с.
6. Коновалов А.И. Руководство по эксплуатации стенда вибро-акустической диагностики «Дельфин». – Луганск: ЗАО Циклон, 2008. – 120 с.
7. Стандарт ИСО10816-1-3-98 – Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации невращающихся частей. Общие требования.