

- канд. техн. н. 05.23.01 / Худoley Евгений Васильевич. – Днепропетровск, 2004. – 185 с.
9. Семко О.В. Оцінка імовірності стану конструкцій за результатами обстежень // Проблеми теорії і практики залізобетону. Зб. наук. ст. – Полтава. – 1997. – С. 414 – 416.
  10. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / Семко О.В. – К.: Сталь, 2004. – 320 с.
  11. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. Затверджені спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997 р. за № 32/288.
  12. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що експлуатуються.

УДК 628.517

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Я.А. Сериков к.т.н., Д.С. Таланин

Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

Создание скоростных транспортных средств, форсированных по мощностям, нагрузкам и другим рабочим характеристикам, неизбежно приводит к увеличению интенсивности и расширению спектра вибрационных и виброакустических полей.

Вибрация нарушает планируемые конструктором законы движения машин, механизмов и систем управления, порождает неустойчивость процессов и может вызвать отказы и полную расстройку всей системы. Из-за вибрации увеличиваются динамические нагрузки в элементах конструкций, стыках и сопряжениях, снижается несущая способность деталей, инициируются трещины, возникают усталостные разрушения. Действие вибрации может приводить к трансформированию внутренней структуры материалов и поверхностных слоев, изменению условий трения и износа на контактных поверхностях деталей машин, нагреву конструкций.

Вибрация приводит к индуцированию шума, являющегося важным экологическим показателем среды обитания человека. Вибрация оказывает и непосредственное влияние на человека, снижая его функциональные возможности и работоспособность. В условиях вибрации нарушается острота зрения и светоощущения, ухудшается координация движений, меняется реакция и пороги чувствительности, ослабевает память, повышаются энергетические затраты. Длительное действие вибрации может привести к ухудшению самочувствия и поражению отдельных систем организма: сердечно-сосудистой, нервной, кровеносной, вестибулярного аппарата и других, изменению мышечных и костных тканей.

Влияние вибрации на человека зависит от ее спектрального состава, направления, места приложения, продолжительности воздействия, а так же от индивидуальных особенностей человека.

Оценка субъективных ощущений, вызванных действием вибрации представлена на рис. 1 в виде областей равного восприятия [1]. Каждой области равного восприятия вибрации соответствуют различные уровни неприятных ощущений человека.

Например, через 4 ч после начала работы и до конца рабочего дня у машинистов строительных экскаваторов наблюдается возрастание нарушения устойчивости равновесия, проявление которого связывается, в основном, с воздействием толчкообразных вибрационных воздействий.

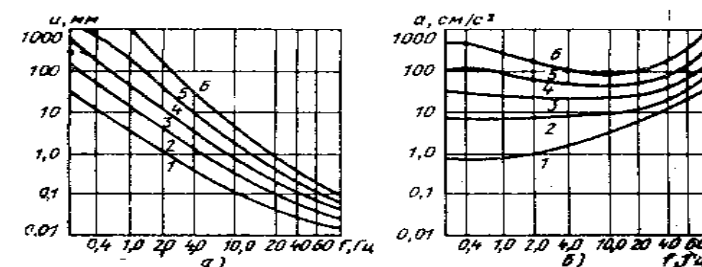


Рис.1 Области восприятия вибрации:

*а* – в зависимости от виброперемещения и частоты; *б* – в зависимости от виброускорения и частоты; 1 – не ощущаемая; 2 – слабо ощущаемая; 3 – хорошо ощущаемая; 4 – сильно ощущаемая; 5 – неприятная при длительном воздействии; 6 – неприятная при кратковременном воздействии.

Наблюдалось также изменение условно рефлекторных реакций на световой раздражитель. В частности, фиксировалось возрастание латентного периода простой зрительно-моторной реакции. Это расценивается как показатель превалирования тормозных процессов в коре головного мозга в результате утомления работающего.

Наряду с этим выявлена тенденция к снижению максимального и минимального артериального давления на 5...7 мм. рт. ст., учащение пульса в среднем на 8 уд. в 1 мин, возрастание треметрического коэффициента в связи с расстройством координации движений рук. Возникновение этих эффектов связано с влиянием высокочастотной вибрации, шума и физического напряжения из-за частого переключения рычагов управления. В то же время исследования показали, что у экскаваторщиков, работающих в аналогичных условиях, вибрационная чувствительность не изменялась. Это связано, вероятно, со сравнительно невысокими уровнями высокочастотной вибрации, которая формируется на рычагах управления.

Следовательно, на безопасность дорожного движения большое влияние имеют технический и человеческий факторы. Поэтому для успешного решения этих проблем необходимо создание методов и средств диагностики систем и узлов автотранспорта, которые позволили бы своевременно определять их технические характеристики, необходимость проведения ремонта.

Одним из таких методов, который дает возможность оперативно, без разборки блоков, узлов и систем автотранспортного средства производить его техническое обследование, является виброакустический метод.

Работа всех машин и механизмов, имеющих движущиеся части, сопровождается вибрацией. Причинами виброакустических колебаний являются соударения в кинематических парах, неуравновешенность перемещающихся деталей, гидромеханические процессы и др. Например, вибрация корпуса форсунки в процессе впрыска топлива вызывается колебаниями поднимающейся иглы и ее ударом во время посадки после окончания впрыска.

Мощным источником вибрации в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) является процесс выпуска, возникающий в результате выхода с большой скоростью отработавших газов через изменяемое во времени проходное сечение выпускного клапана. Мощность вибрации выпуска в значительной мере зависит от избыточного давления в цилиндре и температуры газов, которые возрастают с увеличением нагрузки на двигатель.

Работа аксиально-поршневых насосов сопровождается вибрацией корпуса, а также пульсацией давления рабочей жидкости в напорной магистрали. Причины этих явлений могут быть механического и гидромеханического характера.

Одна из причин вибрации - наличие суммарного зазора «поршень - шатун - вал», который в значительной мере определяет техническое состояние насоса.

Причиной вибрации в основном является резкий перепад давлений при переходе рабочей жидкости из всасывающей полости насоса в нагнетающую, т. е. часть гидравлической мощности, развиваемой при этом насосом, идет на создание вибрации. Вибрацию механизмов можно использовать при оценке их технического состояния. Опытные механики могут определить неисправность на слух. Использование специализированного оборудования позволяет проводить более точный и объективный анализ виброакустических сигналов, которые используются в качестве косвенных диагностических параметров.

Для измерения вибрации применяются специальные вибродатчики. Полученные электрические сигналы обрабатываются при помощи виброизмерительной аппаратуры. При диагностировании результаты измерения вибрации представляются, как правило, в графическом виде на экране электронно-лучевых осциллографов.

При измерениях датчик воспринимает не только сигнал, несущий полезную информацию, но и сигналы, вызванные высокой виброактивностью работающих агрегатов, что обуславливает необходимость применения более сложной, чем простое усиление, обработки сигнала. Для выделения полезной информации из сложного виброакустического сигнала применяют различные методы. Применение для регистрации сигнала электронно-лучевого осциллографа позволяет выделить полезный сигнал при помощи временной селекции. Соударения различных деталей в механизмах происходят в строго определенные моменты времени или, если речь идет о вращательном движении, в определенные угловые промежутки фазового состояния механизма. Включая регистрирующую аппаратуру

только в моменты возникновения полезного сигнала, можно значительно уменьшить количество мешающих сигналов, для чего горизонтальная развертка луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) работает в ждущем режиме. Следовательно, движение луча на экране ЭЛТ, а значит, и регистрация процесса начинается только после прихода внешнего синхроимпульса, для получения которого используются механические и электронные фазоизбирательные устройства.

Механический фазоизбиратель устанавливается на машину так, чтобы валик фазоизбирателя вращался синхронно с валом машины. Тогда происходящие при вращении валика замыкания и размыкания контактов вызывают возникновение импульсов, синхронных вращению вала машины. Поворачивая корпус фазоизбирателя, выбирается момент возникновения синхроимпульсов.

Для работы электронных фазоизбирательных устройств (ЭФУ) не требуется наличие механической связи с вращающимися частями машин. Принцип работы ЭФУ основан на фиксации момента подачи синхроимпульса посредством подсчета угловых отметок за определенный угол поворота вала машины.

При диагностировании ДВС в качестве угловых отметок использовать импульсы, возникающие в индуктивном датчике, расположенном над зубьями венца маховика. Для подсчета угловых отметок применяются электронные счетчики с переменным коэффициентом пересчета  $K$ . При поступлении на вход такого счетчика числа угловых отметок, равного  $K$ , на выходе счетчика появляется импульс, запускающий развертку осциллографа. Если  $K$  равно числу зубьев на венце маховика  $Z$ , развертка будет запускаться после каждого оборота ДВС. Для того, чтобы развертка запускалась один раз в течение полного рабочего цикла ДВС, коэффициент деления определяется по формуле  $K=Z\tau/2$ , где  $\tau$  - число тактов за полный цикл работы ДВС. При исследовании вибрации агрегатов, связанных с валом ДВС через редуктор (например, гидронасоса),  $K=Z/i$ , где  $i$  - передаточное число редуктора.

При использовании ЭФУ начальная фаза включения развертки осциллографа определяется случайным образом. Поиск заданной фазы работы механизма осуществляется посредством увеличения или уменьшения значения  $K$  относительно расчетного. При этом осциллограмма на экране ЭЛТ смещается соответственно влево или вправо. Заданная фаза работы механизма определяется подсчетом угловых отметок между опорной отметкой и началом осциллограммы, регистрируемой на экране ЭЛТ в данный момент времени, для чего угловые и опорная отметки выводятся на второй луч ЭЛТ. Рабочая фаза ДВС (град.) относительно отметки ВМТ первого цилиндра  $\varphi=360Z_v/Z$ , где  $Z_v$  - число отметок зубьев, отсчитанных на экране относительно ВМТ.

В настоящее время специальное оборудование для виброакустической диагностики серийно не выпускается. На рис. 2 приведена схема измерений, применяемая для виброакустической диагностики дизельных и бензиновых двигателей. Для регистрации сигналов в ней используется двухлучевой осциллограф, на экран которого выводятся сигналы от виброакустического

датчика, датчика угловых отметок и ВМТ. Ждущая развертка осциллографа запускается в заданный момент с помощью ЭФУ. Предварительная обработка виброакустического сигнала производится с помощью шумомера.

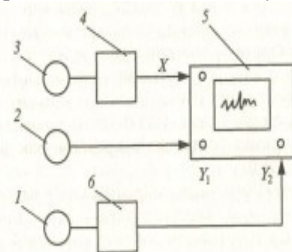


Рис. 2 Схема измерений виброакустических сигналов:

1 - датчик виброакустических сигналов; 2 - датчик ВМТ; 3 - датчик угловых отметок; 4 - электронное фазоизбирательное устройство; 5 - двухлучевой осциллограф; 6 - шумомер

На рис. 3 показана осциллограмма вибрации корпуса форсунки во время впрыска. В этом случае сигнал от датчика виброускорений, установленного на корпусе форсунки, подавался на нижний луч экрана, а сигналы угловых отметок и ВМТ выводились на верхний луч. Угол опережения впрыска топлива определялся подсчетом угловых отметок между точкой начала впрыска 1 и отметкой ВМТ 4. Для определения продолжительности впрыска определялся угол поворота коленчатого вала между точками 7 и 2, в течение которого на осциллограмме отображались колебания поднятой иглы форсунки. Применяя эту схему для диагностики топливной системы дизеля в эксплуатационных условиях, можно определять угол опережения впрыска и неравномерность подачи топлива секциями ТНВД, а также техническое состояние форсунки и ТНВД. С увеличением зазоров в его сборочных единицах и узлах от номинальных до предельно допустимых значений уровень вибрации возрастает до 5 раз на рабочих режимах и до 2,5 раза на режимах прокручивания двигателя от внешнего устройства.

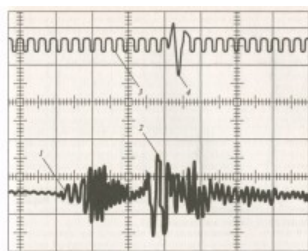


Рис. 3 Осциллограмма вибрации корпуса форсунки во время впрыска топлива: 1 - начало впрыска; 2 - конец впрыска; 3 - угловые отметки; 4 - отметка ВМТ

Наиболее информативным и универсальным средством измерения и анализа сигналов в настоящее время является прибор с устройствами преобразования сигналов вибрации и шума в цифровую форму, снабженный интерфейсом для ввода их в оперативную память компьютера. Такое средство измерения позволяет использовать любую из рассмотренных информационных технологий или их комбинации. Могут быть использованы также специальные входные устройства, выходные сигналы которых отражают параметры конкретных блоков или технологических процессов, протекающих при работе двигателя внутреннего сгорания рис. 4. Следовательно, для получения более точных вибрационных характеристик двигателей внутреннего сгорания необходимо создание базы данных, которая в дополнение к решению своей основной задачи позволит конкретизировать перечень необходимых контролируемых параметров вибрационного сигнала, а также позволит сформулировать постановку задачи по схемотехническим параметрам измерительных устройств.

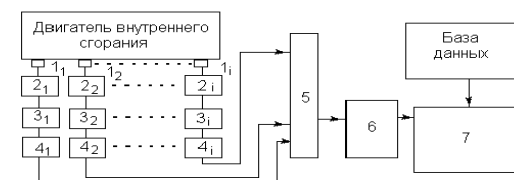


Рис. 4 - Структура информационной системы контроля вибрационных характеристик двигателей внутреннего сгорания: 1<sub>i</sub> - датчики-преобразователи; 2<sub>i</sub> - полосовые фильтры; 3<sub>i</sub> - измерители параметров вибрационного сигнала; 4<sub>i</sub> - аналого-цифровые преобразователи; 5 - коммутатор; 6 - интерфейс; 7 - компьютер

Вывод: Исследования показали, что виброакустический метод является наиболее перспективным методом безразборной диагностики технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Современное развитие информационно-вычислительной техники позволяет решить такую задачу на основе методов моделирования и создания соответствующей базы данных. В связи с этим, своевременное прогнозирование, обнаружение и устранение дефектов двигателей внутреннего сгорания позволяет решить задачу снижения уровня воздействия вибрации на работающие и окружающую среду.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.В., Усенко В.Р. Гигиена труда. - М.: Медицина, 1988.
2. Ермолов И.Н. Методы и средства неразрушающего контроля. - М.: Машиностроение, 1988.
3. Неразрушающий контроль. Кн. 2. Акустические методы контроля: /Под ред. В.В.Сухорукова. - М.: Высшая школа, 1991.
4. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение, 1987.