

*А.Н. БОРИСЕНКО*, канд. техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"

*И.Г. ТРУФЕН*, лаборант кафедры ТОЭ, НТУ "ХПИ"

*П.С. ОБОД*, аспирант НТУ "ХПИ"

*О.В. ЛАВРИНЕНКО*, аспирант НТУ "ХПИ"

*Е.В. ХАЛАНСКАЯ*, стажер-препод. НТУ "ХПИ"

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДВС С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА МАТЛАВ**

Ця стаття присвячена експериментальній частині розробки системи діагностування ДВС з використанням математичного пакету Matlab. Вказані методи, аналіз та результати експерименту. Результати можуть бути використані в подібних задачах діагностики.

This paper is report about developing experimental part of system diagnostic internal combustion engine with Matlab application. Methods, analyze and results of experiment are given. Results of this paper can be used in similar tasks of diagnostics.

**Постановка проблеми.** На текущий момент как в железнодорожных, так и в водных транспортных перевозках широко применяются дизельные двигатели, разработанные и введенные в эксплуатацию 30-50 лет назад. На ремонт таких двигателей уходит значительный объем материальных и трудовых ресурсов, что может быть существенно уменьшено с применением автоматизированных систем неразборной диагностики. Экспериментальной части создания данной системы посвящена эта статья.

**Анализ литературы.** На текущий момент методы диагностики машин и механизмов разрабатываются в четырех направлениях:

- 1) диагностика методом неразрушающего контроля;
- 2) с помощью вибро- и акустических сигналов;
- 3) анализ концентрации продуктов процесса износа в топливе;
- 4) анализ выхлопных газов [1].

В последнее десятилетие были разработаны несколько эффективных методов обнаружения основных дефектов машин и оборудования по вибрации на этапе их зарождения. Они базируются, в основном, на анализе высокочастотной вибрации, для возбуждения которой не нужны большие колебательные силы, но и проявляется она только в месте их действия, быстро затухая при распространении. Такие методы стали использоваться диагностами многих стран для перехода от вибрационного мониторинга к глубокой диагностике. Параллельно развивались методы автоматизации алгоритмов диагностики, что позволило ряду производителей диагностических систем заменить программным обеспечением высококлассных экспертов при решении типо-

вых диагностических задач. Доля таких задач очень высока и превышает девяносто процентов от всех задач, решаемых путем анализа сигналов вибрации [4].

Мониторинг машин и оборудования является лишь одной из ряда технических задач, в которых для диагностики используются измерения и анализ вибрации машин и оборудования.

В каждой группе задач имеются свои ограничения как на объекты диагностики, так и на основные свойства вибрации, используемые для достижения оптимальных результатов. Для их описания вибрацию следует разделить, во-первых, по частотному признаку, а, во-вторых, по способу ее формирования [3].

**Цель статьи.** Основопологающей задачей разрабатываемой системы диагностики является поиск методики диагностики тепловозных дизельных установок и реализация на современной электронной базе с применением вычислительных средств. В тоже время сами испытания и отработка методики на крупных дизелях представляет экономическую и практическую сложность. В связи с этим было принято решение отработать эксперимент на доступных автомобильных бензиновых и дизельных двигателях с дальнейшими применением и отладкой вибрационной методики на крупных дизелях.

Задачей данных исследований является определение состояния кривошипно-шатунного механизма и состояния цилиндропоршневой группы.

Изначально предполагалось использовать следующие параметры для диагностики: вибросигналы, снятые с вибродатчиков, и амплитуда колебаний, снятая с автомобильного генератора, для оценки колебаний частоты вращения коленчатого вала. В дальнейшем оказалось, что второй параметр не представляет собой надежного диагностического сигнала из-за смещения фазы, вызванного нестабильностью механического передаточного звена между коленчатым валом и генератором.

В дальнейшем речь пойдет о диагностике с помощью вибродатчиков. Были выбраны пьезодатчик ЗП-3 и распространенный автомобильный датчик 18.3855.

В качестве запоминающего устройства был выбран ПК на базе X86, ОС Windows с обычным аудиовходом. Также было выбрано специализированное программное обеспечение для снятия сигнала: «Запоминающий осциллограф».

Полученный сигнал сохраняется в стандартном звуковом формате «wav», что позволяет в дальнейшем работать с ним не только в программах по обработке звука, но и обрабатывать его в математическом пакете Matlab.

Диапазон измеряемых напряжений аудиовхода - от 20 микровольт до 0,4 вольт, генерируемый сигнал выше диапазона, поэтому был разработан специальный делитель напряжения.

Перед испытанием на реальном объекте были созданы модели – генераторы звукового белого шума и имитатор сигнала (рис.2).

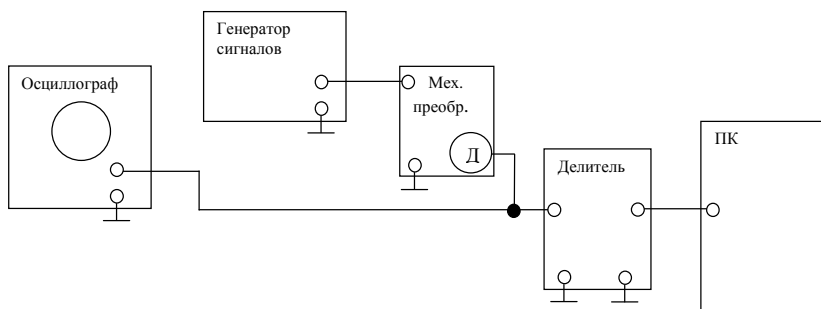


Рис. 1 Схема испытания на модели

В результате моделирования были получены следующие диаграммы сигналов:

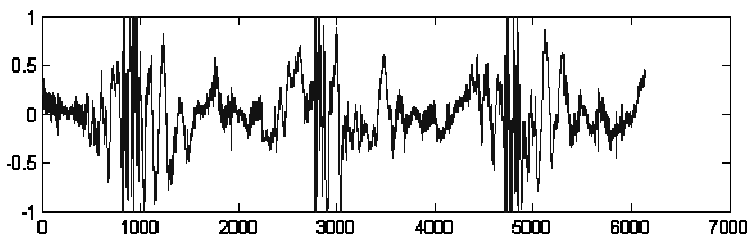


Рис. 2. Форма Сигнал с пьезодатчика 3П-3

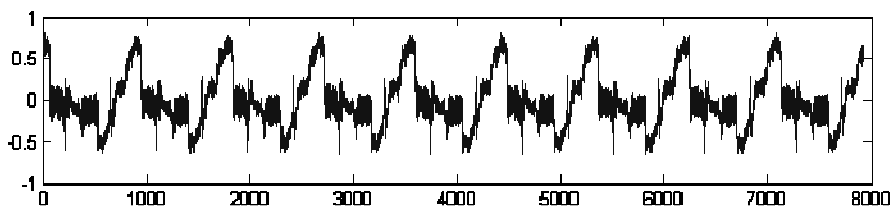


Рис. 3. Сигнал с вибродатчика 18.3855

По результатам моделирования эксперимента оказалось, что датчик 18.3855 более эффективен, чем пьезоэлемент, и в дальнейшем эксперимент проходил только с его использованием.

Оцифрованные данные представляют собой набор вибрационных сигналов срабатывания цилиндров. На испытуемом двигателе цилиндры расположены как на рис. 5 :

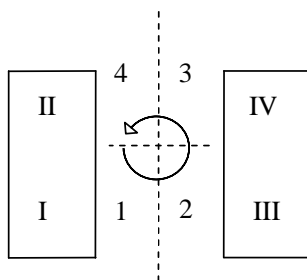


Рис. 4

В результате эксперимента были получены наборы данных и гистограммы для анализа. Следующим этапом было использование одновременно двух датчиков на одной коробке. В данном случае не производилось синхронизации ввиду отсутствия свободных каналов (на линейном входе снимающего устройства только два входных канала), тем не менее, это позволило определить соответствие сигналов на разных коробках. На рисунке 5 по оси ординат представлены микросекунды, по оси ординат напряжение в вольтах подаваемое с вибродатчика.

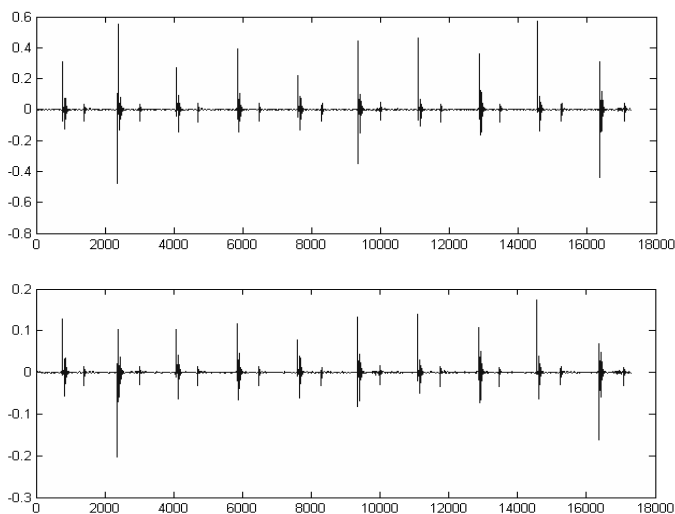


Рис. 5 Сигналы двух датчиков, установленных на разных коробках

Далее была проведена синхронизация данных по сигналам со свечи для первого цилиндра и сравнение анализов экспериментов над неисправными объектами и с теми же объектами после ремонта.

Синхронизация позволила определить соответствие всплесков сигналов срабатыванию определенных цилиндров.

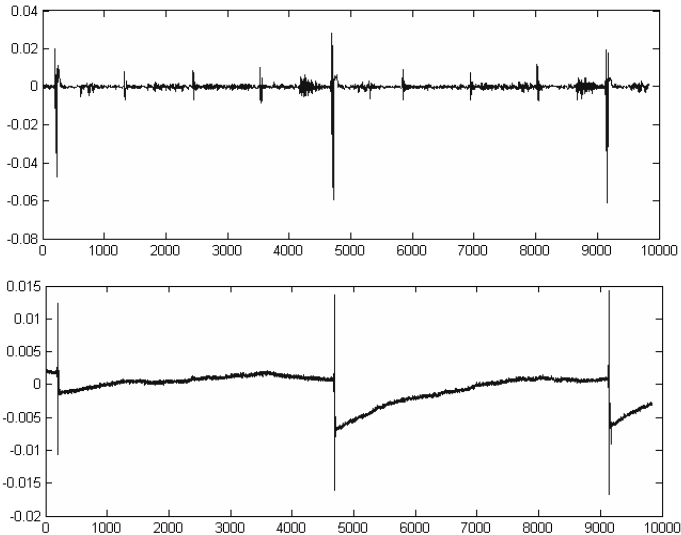


Рис. 6 Сигналы двух датчиков, установленных на разных коробках

Для обработки сигнала был разработан комплекс программ в среде математического пакета Matlab. Одна из подпрограмм находит и вычисляет среднее расстояние между повторяющимися сигналами цилиндров с помощью порогового значения.

Код со встроенными комментариями приведен ниже:

```
function y = spaceWave(x,threshold)
%инициализация переменных
m = 1;
minumumDistance = 500;
y(1) = 0;

lastPosition = 0;
%циклический проход по ряду данных
for k = 1:size(x,2)
```

```

%сравнение текущих данных с пороговым значением
if (x(k) > threshold)

    %выдерживание расстояние между сигналами
    if (m == 1)
        %y(m) = 0;
        m = m + 1;
        lastPosition = k;
    else

        if ((m > 1) && (k-lastPosition > minimumDistance))
            %расчет расстояний между сигналами
            %и регистрирование в массиве

            y(m) = k-lastPosition;
            lastPosition = k;
            m = m + 1;
        end;
    end;

end;
end;

```

В итоге были получены результаты для всех наборов сигналов.

При изучении данных была найдена закономерность между I и IV цилиндрами. Ориентировочно также были обнаружены цилиндры с наихудшим состоянием по максимальному времени задержки запуска следующего цилиндра.

На следующем этапе была отключена одна свеча на одном из цилиндров и результаты были сравнены. Разница между тактами представлена на следующей таблице, где L1 – это среднее расстояния между тактами для варианта с выкрученной свечей, а L2, соответственно, для штатного режима.

Таблица 1

L1	1182	1177	1144	1170
L1d	38	33	0	26
L2	1055	1056	1008	1017
L2d	47	48	0	9

Корреляции между двумя режимами для разных цилиндров не было обнаружено.

Информационным параметрами были приняты следующие характеристики сигнала: форма, длительность и амплитуда сигнала (рис.8). Ось абсцисс представлена в вольтах.

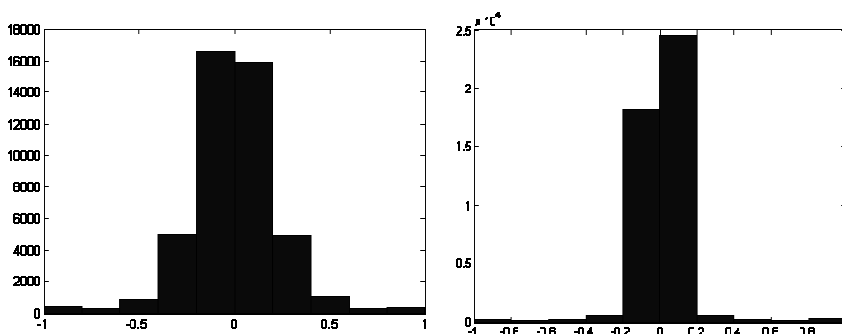


Рис. 7 Гистограммы двух сигналов для двух разных цилиндров

Дальнейшими шагами по направлению создания системы диагностики будут поиск новых параметров для диагностики и перенос эксперимента на тепловозные двигатели, создание мобильной системы диагностики.

**Выводы.** В процессе работы был построен и отработан эксперимент по диагностике двигателя с помощью вибрационных датчиков. Диагностическими признаками были определены гистограммы сигналов и также расстояния между сигналами на диаграмме срабатывания цилиндров.

Также были намечены дальнейшие шаги по разработке мобильного диагностического комплекса. Приведенные результаты могут быть использованы при аналогичных задачах диагностики ДВС или аналогичных объектов.

**Список литературы:** *S.Geranmaye, A.Rajabvand, M.D. Hamidzadeh, F.Etemad, Sh. M. Hasanli, S.Khoram, S.A. Seyedzadeh Sabunci., E.K. Huseynov* Vibro-acoustic diagnostics of rotary type machines and mechanisms 2.United States. Patent Application Publication. Pub. No.: US 2004/0260454 Al Pub. Date: Dec. 23, 2004. Vibro-acoustic engine diagnostic system .Inventor: Otman A. Basir, Waterloo(CA) 3. Аппаратно-программный комплекс вибродиагностики энергетического оборудования *Афанасьев А.В.* научный руководитель: к.т.н., доцент Власов А.И. Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э.Баумана Москва. 4. *Волков В.П., Мищенко В.М.*, Направление использования вибродиагностики в автосервисе — ХНАДУ, г. Харьков. 5. *Станиславский Л.В.* Вопросы выбора информативных параметров и диагностических признаков для систем управления и диагностики дизель-генераторов. Техническое диагностирование дизелей. – Киев, Донецк, Высшая школа.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ «ХПИ» Боевым В.М.

Поступила в редакцию 06.04.2010