

Список использованной литературы

1. Тюрин, Ю. Н. Анализ данных на компьютере : [Учеб. пособие] / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров ; Под ред. В. Э. Фигурнова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Инфра-М, 2003. – 543 с. : ил., табл. : 22 см. – ISBN 5-16-001316-4.
2. Иванов, В. Н. Экономия топлива на автомобильном транспорте / В. Н. Иванов, В. И. Ерохов. – Москва : Транспорт, 1984. – 302 с. : ил., табл. – (Экономия топлива и электроэнергии). – Библиогр.: с. 299–300.
3. Токсичность автотракторных двигателей и способы её снижения / Н. П. Самойлов, Е. И. Игонин, О. А. Кашеваров, Д. Н. Самойлов ; Под ред. акад., докт. техн. наук, проф. Н. П. Самойлова. – Казань : Изд-во Каз. ун-та, 1997. – 169 с. : ил. : 20 см.; ISBN 5-7464-1252-X.

Summary. The proposal for further development of the design of the equipment under consideration is as follows: in order to increase the flow cross-section of the nozzles, it is necessary to proportionally increase the diameter of the stabilizer itself, since the diameters of the input and output nozzles depend on the geometry of the stabilizers themselves.

УДК 621.43-6:629.3.066

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ОБРАБОТКА МАССИВА ВИБРОСИГНАЛОВ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК ПОКОЛЕНИЯ CRIN2 РАЗЛИЧНОЙ НАРАБОТКИ

Аннотация. Изложены результаты научно-исследовательской работы по обработке вибросигналов топливных форсунок поколения CRIN2 с разложением исходного сигнала на уровни, определением амплитуд колебаний и характерных частот колебаний наиболее ответственных элементов форсунки. Данные спектрограмм, полученные в привязке к форсункам различной наработки и конкретным режимам нагружения, формируют базу результатов анализа динамики спектральных, вейвлетных и статистических образов вибросигналов форсунок поколения CRIN2.

Abstract. The results of the research work on processing vibration signals of CRIN2 generation fuel injectors with decomposition of the original signal into levels, determination of oscillation amplitudes and characteristic oscillation frequencies of the most important elements of the injector are presented. Spectrogram data obtained in relation to injectors of different operating time and specific loading modes form the basis of the results of the analysis of the dynamics of spectral, wavelet and statistical images of vibration signals of CRIN2 generation injectors.

Ключевые слова. Форсунка, стенд, тестирование, показатель, спектр.

Keywords. Injector, stand, testing, indicator, spectrum.

Вибрационный процесс, возникающий при работе топливной форсунки в соответствии с управляющими импульсами, является

следствием ударных взаимодействий импульсного характера. Ударный процесс имеет свой спектр, составляющие которого можно оценить, измеряя максимальные величины выходного сигнала, пропускаемого через ряд узкополосных фильтров с близкими частотами. Искажение спектра входного воздействия, вызываемое реакцией колебательной упругой системы топливной форсунки, а также влияние на сигналы исследуемого сопряжения других сопряжений затрудняют поиск однозначной связи параметров сигнала с параметрами технического состояния диагностируемых механизмов [1, 2, 5].

В лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем БГАУ с использованием диагностических стендов CR-JET 4E компании Dieselland и Поток SMART CRI-2F (ООО «Автоприбор») выполнен комплекс экспериментальных работ по измерению вибрации топливных форсунок CRIN2 (0445120141) с электромагнитным управлением на всех режимах нагружения [3, 4]. Объектами исследования выступали форсунки различной наработки со следами изнашивания наиболее ответственных деталей.

Одним из этапов научно-исследовательской работы явилось значимое усовершенствование многоканальной измерительной системы с гибкой структурой [4, 6], которая отображает в режиме реального времени вибросигналы относительно системы координат x, y, z , создает амплитудно-частотную характеристику быстрым преобразованием Фурье. Разработан программный многоканальный драйвер цифровых датчиков вибрации, входящих в состав измерительной системы. Создана возможность считывания и записи данных одновременно с трёх датчиков вибрации. Выполнение данной операции позволяет реализовать временной период применяемого датчика MPU9250 с предельной частотой обновления данных, равной 1000 отсчётов/с. Датчик вибрации можно подсоединять «на ходу» при работающем диагностическом приборе, а сохраняемый на USB flash-диске файл данных имеет стандартный общеизвестный wav-формат, легко обрабатываемый любым современным программно-математическим пакетом. Многоканальная измерительная система сохраняет сигналы для их последующей обработки.

На основании проведенных исследований сформирован массив данных, представленный в виде лабораторного журнала (фрагмент таблицы данных при работе форсунки в режиме холостого хода (LL) представлен в таблице 1). Массив вибросигналов вводился в таблицу: первые три её столбца – амплитуды вибраций форсунки относительно осей X, Y, Z , а четвертый – значения опорной гармоник, предназначенной для подтверждения неразрывности множества полученных данных.

Таблица 1 – Фрагмент таблицы данных при работе форсунки CRIN2 (0445120141) в режиме холостого хода (LL)

Проекция сигнала на оси декартовой системы координат			Гармоника
X	Y	Z	
0,554229736328125	-0,109527587890625	-0,0380249023437500	-0,00152587890625000
0,499755859375000	-0,0623779296875000	0,0321350097656250	0,0816345214843750
0,499755859375000	-0,0623779296875000	0,0321350097656250	0,0816345214843750
0,507751464843750	-0,0152893066406250	0,0868225097656250	0,0804748535156250
0,484313964843750	-0,0152282714843750	0,102447509765625	0,0804748535156250
0,484313964843750	-0,0152282714843750	0,102447509765625	0,0792846679687500
0,491973876953125	-0,0545043945312500	0,0477600097656250	0,0780944824218750
0,507476806640625	-0,0782470703125000	-0,0303649902343750	0,0780944824218750
0,507476806640625	-0,0782470703125000	-0,0303649902343750	0,0769042968750000
0,499694824218750	-0,0704345703125000	-0,0303649902343750	0,0756835937500000
0,460540771484375	-0,101531982421875	0,00869750976562500	0,0756835937500000
0,460540771484375	-0,101531982421875	0,00869750976562500	0,0744628906250000
0,491912841796875	-0,0701293945312500	0,0477600097656250	0,0744628906250000
0,491912841796875	-0,0701293945312500	0,0477600097656250	0,0732116699218750
0,476470947265625	-0,0231018066406250	0,0868225097656250	0,0719909667968750
0,468688964843750	-0,0152893066406250	0,0868225097656250	0,0719909667968750
0,468688964843750	-0,0152893066406250	0,0868225097656250	0,0707092285156250
0,468536376953125	-0,0544433593750000	0,0633850097656250	0,0694580078125000
0,499755859375000	-0,0547485351562500	-0,0147399902343750	0,0694580078125000
0,499755859375000	-0,0547485351562500	-0,0147399902343750	0,0681762695312500
0,515350341796875	-0,0626220703125000	-0,0303649902343750	0,0681762695312500
0,484100341796875	-0,0702819824218750	0,00869750976562500	0,0668640136718750

Все измерения проводились многократно, получено множество бинарных файлов сигналов акселерометров как для форсунок, на ответственных деталях которых выявлены следы изнашивания, так и для форсунок без следов изнашивания. Предобработка сигналов проводилась в системе Mathcad (рисунки 1 и 2), а последующий спектральный анализ и вейвлет-преобразования – с использованием пакета программ MATLAB.

По видам спектрограмм различимы режимы диагностирования: VL, TL, LL. Наиболее явные изменения спектров в сравнении исправной и изношенной форсунок наблюдаются на режимах VL (самая весомая разница) и TL (рисунки 1 и 2). На представленных в одном ряду изображениях указаны подписи PSX, PSY и PSZ, где важен последний символ, указывающий на ось: X, Y или Z. Это обусловлено использованием при исследовании трёхосевого акселерометра.

В качестве множества параметров контроля поведения гармоник (идентификационного вектора) вибросигнала выступают количество выраженных гармоник в вибросигнале, номер (или частота) выраженной гармоники в вибросигнале, пиковые частоты в поведении выраженных гармоник во времени [3].

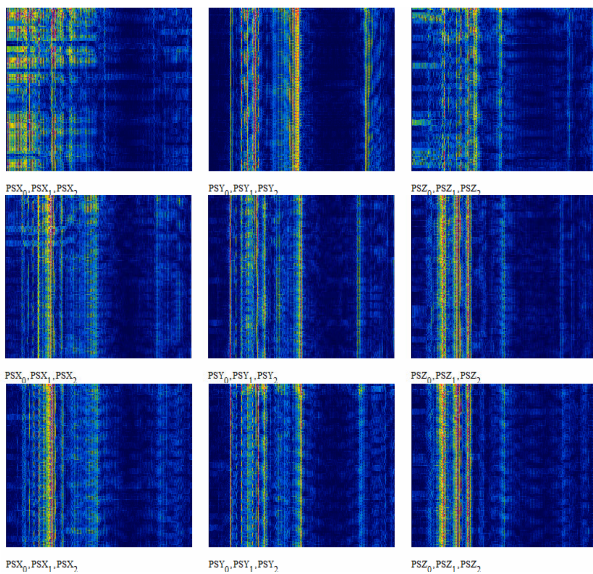


Рисунок 1 – Спектрограммы форсунки с износом запорного конуса клапана и конуса распылителя на режиме VL

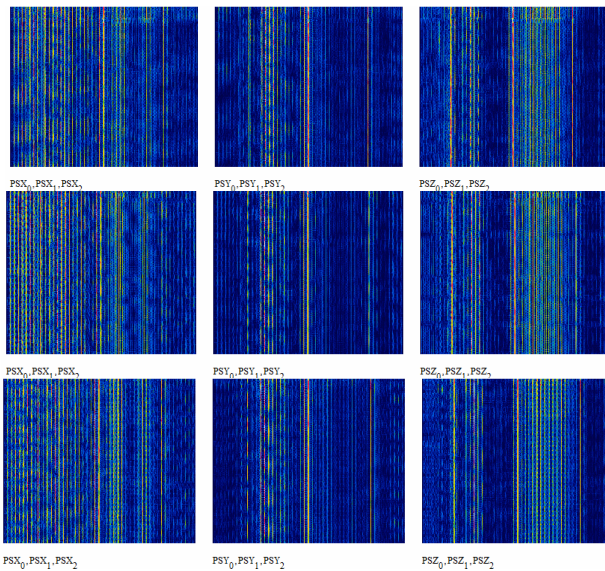


Рисунок 2 – Спектрограммы форсунки с износом запорного конуса клапана и конуса распылителя на режиме TL

При вычислении идентификационного вектора параметров спектрограммы определяется множество данных, на основе которых однозначно можно распознать режим диагностирования (VL, TL, LL) и судить о состоянии топливной форсунки [3].

Таким образом, в ходе научно-исследовательской работы существенно усовершенствована многоканальная измерительная система с гибкой структурой. Разработан программный многоканальный драйвер цифровых датчиков вибрации, входящих в состав измерительной системы. Выполнено построение спектрограмм в привязке к форсункам различной наработки и конкретным режимам нагружения, а также разложение исходного сигнала на уровни, определение амплитуд и характерных частот колебаний наиболее ответственных элементов форсунок.

Список использованной литературы

1. Технология вибрационного диагностирования дизельных двигателей / В. И. Соловьев, В. И. Беляев, В. А. Мачнев [и др.]. – ГОСНИТИ. – М.: 1979 г. – 41 с.
2. Тарасенко, В. Е. Особенности диагностирования форсунок с электромагнитным управлением / В. Е. Тарасенко, С. К. Карпович // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Международной науч.-практич. конф. (Минск, 16–17 октября 2024 года) : в 2 ч. / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2024. – Ч. 2. – С. 28–31.
3. Тарасенко, В. Е. Методы диагностирования зарождающихся эксплуатационных дефектов деталей автотракторных двигателей / В. Е. Тарасенко, О. Ч. Ролич, А. А. Жешко // Агропанорама. – Минск, 2025. – № 2 (168). – С. 25–31.
4. Тарасенко, В. Е. Исследование вибрации форсунок с помощью многоканальной системы с гибкой структурой / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 185–191.
5. Тарасенко, В. Е. Анализ вибрационных характеристик форсунок CRIN2 автотракторных дизелей / В. Е. Тарасенко // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса: материалы республиканской науч.-практ. конф. (БЕЛАГРО-2024) / редкол.: В. А. Самсонович (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 254–257.
6. Жешко, А. А. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А. А. Жешко, В. Е. Тарасенко, О. Ч. Ролич, А. В. Дунаев // Технический сервис машин. – 2021. – Т. 59. – № 1 (142). – С. 55–64.

Summary. During the research work, a multi-channel measuring system with a flexible structure was significantly improved. A software multi-channel driver for digital vibration sensors included in the measuring system was developed. Spectrograms were constructed in relation to injectors of different operating times and specific loading modes, as well as the decomposition of the original signal into levels, determination of amplitudes and characteristic frequencies of oscillations of the most important elements of the injectors.