

УДК 621.432, 631.372

АНАЛИЗ ДАННЫХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ТОПЛИВНОЙ ФОРСУНКИ С БОКОВЫМ ПОДВОДОМ ТОПЛИВА

В.Е. Тарасенко, канд. техн. наук, доцент,

А.В. Михолап, студент

УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: Представлены результаты анализа данных вибродиагностики форсунки с боковым подводом топлива типа ФД при нагружении. Выполнен анализ Фурье для выделенных из общего массива данных, а также определены коэффициенты гармоник и построения фильтров. Выполнено графическое построение преобразованного сигнала виброускорения форсунки в пространстве комплексных чисел.

Abstract: The article presents the results of the analysis of vibration diagnostics data for the FD type injector with lateral fuel supply under loading. Fourier analysis was performed for the data extracted from the general array, and harmonic coefficients and filter constructions were determined. Graphic construction of the converted injector vibration acceleration signal in the space of complex numbers was performed.

Ключевые слова: форсунка, число, спектр, гармоника, амплитуда.

Keywords: injector, number, spectrum, harmonic, amplitude.

Основная часть

Под рассмотрение взят массив данных (рисунок 1), полученных в результате нагружения топливной форсунки типа ФД и виброконтроля многоканальной системы с гибкой структурой [1-5].

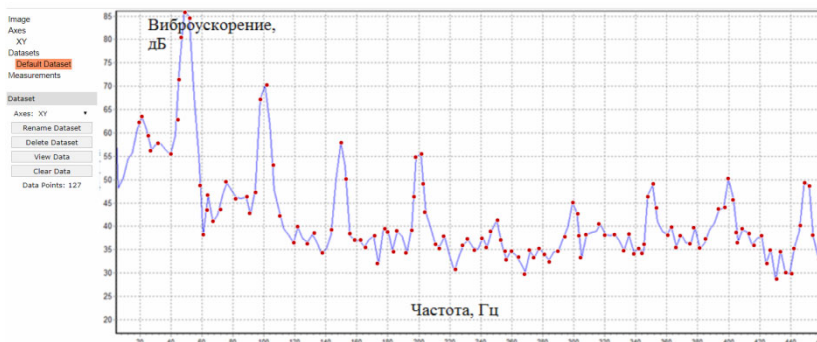


Рисунок 1 – Извлечение данных из спектра вибрации топливной форсунки прибором с дробящим распылением

Поскольку количество выборок должно быть кратным степени 2, то извлекали из массива исходных данных $2^7 = 128$ выборки, которые соответствуют частотам виброускорения форсунки с использованием настольного прибора с дробящим распылением при различных частотах.

Выполнен анализ Фурье для выделенных из общего массива данных, который получил широкое распространение для анализа сигналов в вибродиагностике [6], а также используется для определения коэффициентов гармоник и построения фильтров [7, 8]. Поскольку в рассматриваемом случае имеются дискретные наблюдения y_1, y_2, \dots, y_n то прямое дискретное преобразование Фурье выполняется в соответствии с формулой

$$Y_k = \sum_{j=0}^n y_j e^{\frac{2\pi}{n} jk}, \quad (1)$$

где $k = 0, 1, \dots, n-1$, элемент выборки из $n = 128$ элементов.

Результаты преобразования – комплексные числа, трехмерная графическая интерпретация представлена на рисунке 2. Модуль данных комплексных чисел равен амплитуде k -ой спектральной составляющей (k -ой гармоники), а аргумент комплексного числа Y_k равен фазе этой гармоники.

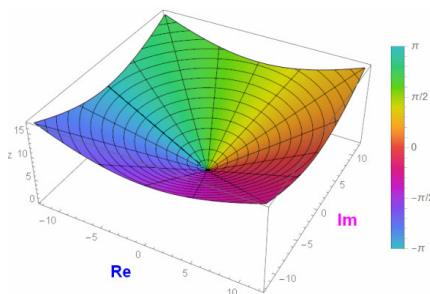


Рисунок 2 – Преобразованный сигнал виброускорения топливной форсунки прибором с дробящим распылением в пространстве комплексных чисел

Например, для 4-ой гармоники, в алгебраической форме записи комплексного числа $z = x + yi$, получим

$$Y_4 = 0,882000744718849 + 2,53776697384525i,$$

для которой амплитуда определится через абсолютную величину комплексного числа $z_k = x + iy$ по формуле

$$|z|_4 = \sqrt{x^2 + y^2},$$

амплитуда для 4-ой гармоники определится как

$$r = |z|_4 = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{0,8820^2 + 2,5377^2} = 0,2686. \quad (2)$$

Посредством полученных значений модулей и фаз для различных гармоник, можно представить комплексные числа в тригонометрической форме

$$z = r(\cos \varphi + i \sin \varphi), \quad (3)$$

тогда

$$z = 0,2686 \cdot (\cos(1,2363) + i \sin(1,2363)).$$

В показательной форме записи комплексных чисел

$$z = r e^{i\varphi}. \quad (4)$$

Для рассматриваемого примера 4-ой гармоники $z = 0,2686 e^{i1,2363}$.

В результате определены данные для всего ряда наблюдений, а также значения амплитуды сигнала и его фазы. Для проверки правильности полученных результатов выполнялось обратное преобразование Фурье, которое соответствует исходному сигналу.

Для обработки сигналов вибрации по временным параметрам использован метод, основанный на определении среднеквадратического значения виброускорения. В результате расчетов при $\bar{V} = 41,93$ получили $S = 10,96$ дБ. Данный метод прост и может эффективно использоваться для выявления дефектов деталей, для которых известно допустимое среднеквадратичное отклонение по виброускорению.

Заключение

Важным элементом получения необходимой информации о техническом состоянии узлов топливной аппаратуры является изучение вибросигналов при различных режимах их работы. Выполнен анализ данных вибродиагностики топливной форсунки прибором с дробящим распылением, а также анализ Фурье для выделенных из общего массива данных, определены коэффициенты гармоник и построения фильтров. Выполнено графическое построение преобразованного сигнала виброускорения форсунки с дробящим распылением в пространстве комплексных чисел.

Список использованной литературы

1. Ролич, О.Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко // Агропараметра. – 2019. – № 5. – С. 42–45.
2. Жешко, А.А. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А.А. Жешко, В.Е. Тарасенко, О.Ч. Ролич [и др.] // Технический сервис машин. – 2021. – Т.59. № 1 (142). – С. 55–64.
3. 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.

4. Ролич, О.Ч. Интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики систем, узлов и механизмов дизельного двигателя на базе беспроводной mesh-сети / О.Ч. Ролич, В.Е. Тарасенко, И.И. Балаш // Агропанорама. – 2019. – № 6. – С. 38–41.
5. Тарасенко, В.Е. Анализ вибрационных характеристик форсунок CRIN2 авто-тракторных дизелей / В.Е. Тарасенко // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса : материалы республиканской научно-практической конференции. Белорусская агропромышленная неделя БЕЛАГРО-2024 / редкол.: В.А. Самсонович (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – С. 254–257.
6. Основы цифровой обработки сигналов: учеб. пособие / В.Г. Коберниченко ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 150 с.
7. Математические основы обработки сигналов. Практикум: учебное пособие / ОС. Вадутов; Томский политехнический университет. – 3-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 102 с.
8. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.

УДК 621.436.12:621.899

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

**В.Г. Костенич¹, канд. техн. наук, доцент,
В.А. Белоусов², канд. техн. наук, доцент,
А.В. Гордеенко², канд. техн. наук, доцент,
Д.Д. Абрамович¹, студент**

¹*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

²*УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная
академия», г. Горки, Республика Беларусь*

Аннотация: Приведена методика определения пористости фильтровальных материалов из углеродных волокон различными способами и полученные результаты.

Abstract: The article presents a method for determining the porosity of filter materials made of carbon fibers using various methods and the results obtained.

Ключевые слова: фильтровальный материал, углеродное волокно, пористость.

Keywords: filter material, carbon fiber, porosity.

Введение

Одним из главных условий повышения долговечности, надёжности и безотказности работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является надёжная защита пар трения от абразивных частиц на всех режимах работы двигателя, которая может быть достигнута за счёт применения более совершенных маслоочистителей из современных фильтровальных материалов [1].