

Valencia-Ochoa // *Respuestas, Journal of Engineering Sciences.* – 2020. – 25(2) May-August. – pp. 83–90.

15. Elamin, Fathi. Fault Detection and Diagnosis in Heavy Duty Diesel Engines Using Acoustic Emission / Fathi Hassen Elamin // *Doctoral thesis, University of Huddersfield.* – November 2013. – 265 p.

16. B. Ribbens, William. Incipient failure detection in bus engine components / William B. Ribbens, Mitra Naaseh // *Center for Transit Research and Management Development University of Michigan Transportation Research Institute.* – MARCH, 1987. – 71 p.

17. Chaitidis, G.D. Vibration Analysis of a Common Rail Diesel Engine using Biodiesel: A Case Study / G.D. Chaitidis, T.S. Karakatsanis, V. Kanakaris [and others] // *Journal of Engineering Science and Technology Review.* – 12 (5). – 2019. – pp. 167–175.

18. Dobrinski, H. Micro-sensors for automotive liquid properties monitoring (D5.4) / Heiko Dobrinski, Torsten Eggers, Jörg Stürmann [and others] // *SENSOR + TEST Conferences.* – 2011, *SENSOR Proceedings.* – pp. 612–617.

**Summary.** When assessing the condition of engine systems and mechanisms, the most effective and reliable is an integrated approach, when data, for example, from vibroacoustic observations are supplemented and compared with data from methods for monitoring wear of specific rubbing parts and indexing results. By managing the oil condition of mobile vehicles in real time, it is possible to precisely adapt the oil change intervals in accordance with its actual condition to the corresponding mobile vehicle and its operating mode. Signal processing methods can include both spectral analysis and wavelet transform. In subsequent studies, it is advisable to combine the developed and known methods for diagnosing automobile and tractor engines.

УДК 621.432, 631.372

**Тарасенко В.Е.**, кандидат технических наук, доцент;

**Василюк М.В.**, студент;

**Жешко А.А.**, кандидат технических наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ ТРАКТОРА «БЕЛАРУС-3022ДЦ.1»**

**Аннотация.** Изложены результаты исследования вибрации двигателя трактора «БЕЛАРУС-3022ДЦ.1» с использованием многоканальной измерительной системы. Выполнен анализ данных, определены пиковые виброускорения для спектра вибрации двигателя, а также зависимости автокорреляции от задержки для спектра вибрации с шагом 200 Гц.

**Abstract.** The results of a study of engine vibration of the tractor "BELARUS-3022DC.1" using a multi-channel measuring system are presented. Data analysis was performed, peak vibration accelerations were determined for the engine vibration spectrum, as well as the dependence of autocorrelation on delay for the vibration spectrum with a step of 200 Hz.

**Ключевые слова.** Двигатель, диагностика, вибрация, датчик, сигнал, частота, спектр, ускорение.

**Keywords.** Engine, diagnostics, vibration, sensor, signal, frequency, spectrum, acceleration.

Основной методикой виброакустического диагностирования дизельных двигателей является построение упрощенных моделей колебаний в системе двигателя и проведение значительного количества виброакустических исследований узлов и деталей с целью сбора статистической информации о вибрационных характеристиках на различных режимах работы. Построение прогнозов о состоянии и остаточном ресурсе представляется возможным путем сопоставления статистических данных исправного и неисправного узла двигателя.

Для обработки данных виброакустических исследований используются различные методики. Основным методом исследования является спектральный анализ, который позволяет качественно и количественно изучить информацию, предоставляемую виброакустическим сигналом. В рамках спектрального анализа целесообразно провести анализ пиков в спектре, определить их шаг. Также важным этапом обработки сигнала является определение его периодичности с помощью автокорреляции.

С использованием многоканальной измерительной системы с гибкой структурой [1] выполнены измерения вибрации двигателя Deutz BF06M1013FC трактора «Беларус-3022ДЦ.1» при частоте вращения коленчатого вала двигателя 900 мин<sup>-1</sup>.

Этапы предварительной обработки сигнала, нахождения и анализа его пиков состояли в следующем. Для нахождения пиков спектра вибрации двигателя трактора «Беларус-3022ДЦ.1» использовали функцию

$$[pks,locs]=findpeak[data], \quad (1)$$

где  $pks$  – вектор содержащий значения локальных максимумов сигнала;  $locs$  – вектор со значениями частот, соответствующих найденным локальным максимумам;  $data$  – вектор со значениями виброускорений.

Для нахождения пиков в спектре вибрации дизеля Deutz  $data1$ , вычисляли значения  $pks$  по функции (1). Результат вычисления пиков представлен на рисунке 1. Анализ данных показывает, что некоторые пиковые значения

виброускорений неравномерно распределены по спектру частот. Это можно объяснить наличием посторонних шумов при проведении виброакустических испытаний дизеля. Для равномерного распределения частот введен в функцию (1) дополнительный параметр, равный шагу расположения пиков.

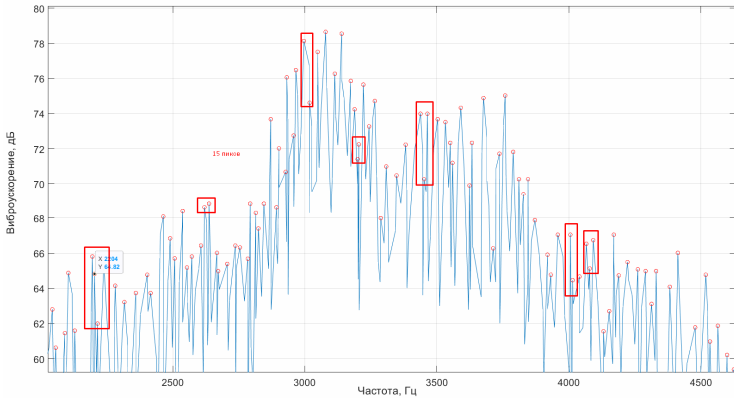


Рисунок 1 – Результаты вычисления пиковых виброускорений для спектра вибрации дизеля

Расчеты показывают, что в рассматриваемом спектре вибрации на 1000 Гц приходится по 5 пиковых значений виброускорений. Поэтому для вектора данных *data1* повторно применяли функцию (1) с шагом для поиска максимумов равным 200 Гц. Результаты отображены на рисунке 2.

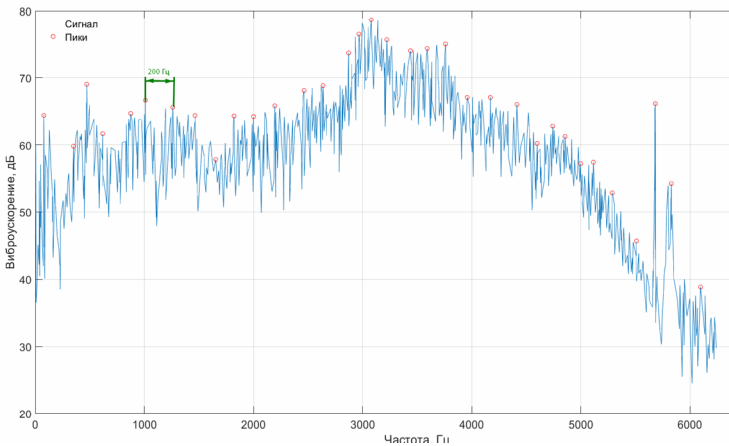


Рисунок 2 – Результаты вычисления пиковых виброускорений для спектра вибрации дизеля с шагом 200 Гц

Приведенные расчеты позволили упорядочить распределение пиков по спектру вибрации, что позволит сопоставлять полученные данные с аналогичными измерениями в процессе эксплуатации двигателя. За счет нахождения закономерностей изменения пиковых характеристик виброускорений становится возможным построение статистических регрессионных моделей зависимостей для прогнозирования остаточного ресурса элементов двигателя.

Результаты определения ширины пиковых участков представлены на рисунке 3. Расчеты показывают, что ширина пиковых участков изменяется в пределах 17,6–70,4 Гц. Среднее значение составляет 30,8 Гц. Заметное увеличение ширины пиковых участков наблюдается на частоте 2200 – 2600 Гц. Максимальное – 5900–6150 Гц.

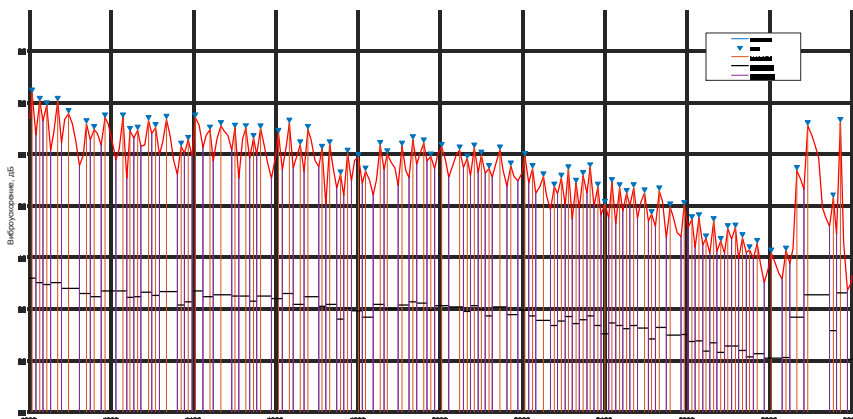


Рисунок 3 – Графическая интерпретация определения ширины пиковых участков виброускорений для спектра вибрации дизеля Deutz с шагом 200 Гц

При проведении виброакустической диагностики двигателя неизбежно возникают шумы, которые препятствуют выявлению сигналов, подтверждающих неисправности двигателя или износ элементов. Поэтому важным этапом анализа данных виброакустической диагностики является подавление сопутствующих шумов. Избавиться от шумов можно путем получения образца шумового сигнала, установив дополнительные датчики при проведении виброакустической диагностики. При этом следует учитывать, что полученный источник шума не получится просто вычесть из общего сигнала, поскольку он получен от разных датчиков и претерпевает различные искажения. Для поиска закономерностей и построения алгоритмов обработки сигналов необходимо опираться на существующие статистические модели сигналов.

*Определение периодичности сигнала с использованием автокорреляции*

Наличие шума затрудняет обнаружение периодичности изучаемого сигнала. Для вычисления периода использовали инструмент автокорреля-

ции. Учитывая, что автокорреляционная последовательность квазипериодического сигнала соответствует по циклическим характеристикам самому сигналу, осуществили проверку в сигнале наличия циклов и определили их продолжительность.

Из рисунков 2 и 3 прослеживаются колебания в различных частотах, однако длительность циклов не определена. Вычисляли автокорреляцию так, чтобы ее значение соответствовало единице при задержке равной нулю. На рисунке 4 представлены результаты определения зависимости автокорреляции от задержки для спектра вибрации дизеля Deutz с шагом 200 Гц.

Для полученной на рисунке 4 зависимости определяли длинные и короткие периоды, путем нахождения пиков и определения разницы во времени между ними. Для нахождения пиков использовали функцию (1). Для нахождения периодов использовали следующую функцию

$$P_s = \text{mean}(\text{diff}(\text{locs})) / fs, \quad (2)$$

где *locs* – вектор значений задержек локальных пиков; *diff* – функция вычисления конечных разностей и приближенного дифференцирования; *mean* – функция определения средних значений элементов массива.

Расчеты, выполненные по функции (2) показывают, что для спектра вибрации дизеля Deutz с шагом 200 Гц короткие периоды составляют  $5,64 \cdot 10^{-04}$ , а длинные периоды отсутствуют. Таким образом, согласно проведенным расчетам, полученный сигнал не является периодическим.

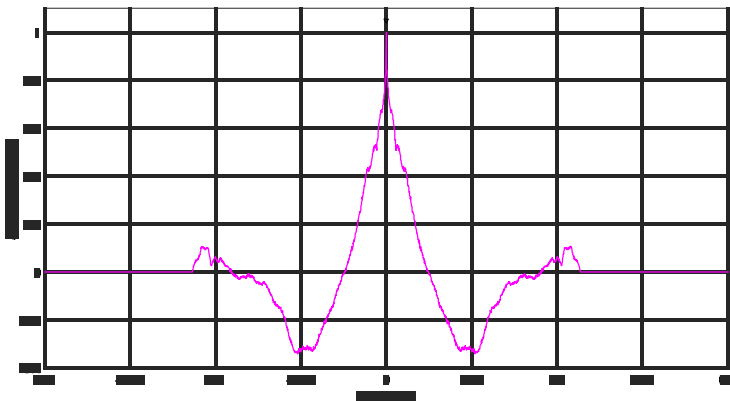


Рисунок 4 – Зависимость автокорреляции от задержки для спектра вибрации в ВМТ цилиндра №1 с шагом 200 Гц

Согласно [2] спектр непериодического сигнала – сплошной и определяется на всей оси частот, что подтверждается результатами виброакустических исследований двигателя (рисунок 1).

Полученные в результате исследования вибрации дизельного двигателя Deutz трактора «Беларус-3022ДЦ.1» данные являются теоретическими предпосылками для разработки методики виброакустического диагностирования дизельных двигателей.

#### **Список использованной литературы**

1. Ролич О.Ч., Тарасенко В.Е. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей. Агропанорама. – 2019. N 5. – С. 42-45.

2. 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.

**Summary.** The data obtained as a result of studying the vibration of the Deutz diesel engine of the «Belarus-3022DC.1» tractor are theoretical prerequisites for the development of a technique for vibroacoustic diagnostics of diesel engines.

УДК 629.3

**Жданко Д.А.**, кандидат технических наук, доцент;

**Непарко Т.А.**, кандидат технических наук, доцент

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

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАКТОРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Аннотация.** Статья посвящена анализу проблем технического обслуживания машинно-тракторного парка в сельскохозяйственных организациях (предприятиях) Республики Беларусь.

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the problems of maintenance of the machine and tractor fleet in agricultural organizations (enterprises) of the Republic of Belarus.

**Ключевые слова.** Техническое обслуживание, стандарт, фактор, топливо, контроль, машинно-тракторный парк, ремонтно-обслуживающая база.

**Keywords.** Key words: maintenance, standard, factor, fuel, control, machine and tractor fleet, repair and service base.

В структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции около 50 % – затраты на эксплуатацию машинно-тракторного парка (МТП), из которых до 40 % приходится на техническое обслуживание (ТО) и хранение техники.