

2. Круглый П. Е. Исследование и анализ потоков восстановления работоспособности кормоуборочных комбайнов при организации технического сервиса. / П. Е. Круглый, П. Н. Василевский, М.М. Шукан, П.С. Круглый // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК: материалы Международной науч.-практ. конфер. (Минск 5-6 июня 2024 г.). – Минск: БГАТУ, 2024. С. 43–49.

3. Круглый П. Е., Кашко В. М., Мисун А. Л. и др. Исследование и анализ ремонтпригодности кормоуборочных комбайнов при организации их технического сервиса. В сб. Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Международной науч.-практ. конфер. (Минск, 24-25 октября 2019 г.). – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 111–113.

4. Ивашко, В. С. Круглый, П. Е. Кашко. В. М. и др. Исследование и анализ потоков требований на обслуживание технических систем. – Изобретатель № 9 (213), 2017. – С. 33–37.

5. Ивашко, В. С. Миленский, В. С. Круглый, П. Е. и др. Оптимизация резерва запасных частей для обеспечения работоспособности автомобилей. – Изобретатель № 4 (160), 2013. – С. 44–47.

6. Юдин. М. И. Техника применения математического аппарата теории вероятностей в надежности машин / М. И. Юдин, И. В. Карасев, Р. А. Титов и др. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2006. – 255 с.

7. Кобзарь А.И. Прикладная математика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

Summary. The proposed model enables the optimization of the spare parts inventory (components and assemblies) for organizing technical service of agricultural machinery. The optimization function for the spare parts reserve was derived by considering the losses from machine downtime, associated mechanization equipment, operating personnel, and the costs of maintaining the inventory. The required number of spare parts per 100 «Polesie-800» complexes to be kept in the warehouse of a dealer's technical center was determined. It was found that the ratio of the optimal spare parts reserve to the size of the «Polesie-800» complex fleet decreases as the latter increases.

УДК 621.432. 631

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК CRIN2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ГИБКОЙ СТРУКТУРОЙ

Аннотация. Представлены этапы вибрационного диагностирования топливных форсунок поколения CRIN2 с использованием многоканальной измерительной системы с гибкой структурой и специализированного диагностического стенда. Результаты позволяют контролировать состояние узлов топливной аппаратуры дизельных двигателей. Разработанный подход

вибрационного диагностирования топливных форсунок способствует организации в АПК системы технического сервиса на основе цифровых технологий управления состоянием машин.

Abstract. The stages of vibration diagnostics of CRIN2 generation fuel injectors are presented using a multichannel measuring system with a flexible structure and a specialized diagnostic stand. The results allow monitoring the condition of diesel engine fuel equipment units. The developed approach to vibration diagnostics of fuel injectors contributes to the organization of a technical service system in the agro-industrial complex based on digital technologies for machine condition management.

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

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

Вибрации являются носителями уникальной информации о тончайших особенностях поведения конструкции и действующих в ней рабочих процессов. По скорости реакции на любые изменения состояния вибрациям нет равных среди других сопровождающих физических явлений. Структуры вибраций указывают на свое происхождение, т.е. демаскируют дефект [1].

С целью идентификации на ранней стадии эксплуатационных дефектов деталей автотракторных двигателей в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем УО «БГАТУ» в рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2024 год выполнен комплекс научно-исследовательских работ по тестированию форсунок CRIN2 различной наработки. В последующем выполнен анализ вибрационных характеристик рассматриваемых форсунок [1-3, 7].

На диагностическом стенде CR-Jet 4E (Dieselland) с использованием разработанной многоканальной измерительной системы с гибкой структурой [4-6] испытаны форсунки CRIN2 (типовой номер 0445120141) на всех режимах нагружения. Использовались вибродатчики MPU9250, которые крепились на корпусе форсунок клеевой лентой и специальным стяжным хомутом.

На каждом этапе тестирования (проверка гидроплотности Leak test, тестирование при максимальной нагрузке VL, тестирование при средних нагрузках или оценка экологичности, так называемая, «точка эмиссии» EM, тестирование на холостом ходу LL и тестирование предварительного впрыска топлива VE1 и VE1) форсунки формировался соответствующий протокол. Визуализация данных рабочих окон программы стенда на конкретных режимах тестирования представлена на рисунке 1.

Разработанная измерительная система отображает в режиме реального времени вибросигналы относительно системы координат x, y, z , создает амплитудно-частотную характеристику быстрым преобразованием Фурье. Система также сохраняет сигналы для их последующей вейвлет-обработки. Изначально сигналы записывались в бинарные файлы с расширением «bin», а позднее – в wav-файлы, с фиксацией момента перехода на следующий тест-план [5].

Во избежание разности подачи тестовой жидкости при нагружении одновременно тестированию подвергалась одна форсунка. Как следует из

рисунка 1, активной является секция под номером три, фактическое значение расхода тестовой жидкости указывается непосредственно под столбцом (к примеру, на рисунке 1d значение расхода составляет 214 см³/1000 циклов).

На рабочем окне каждого из представленных этапов тестирования указаны пределы значений расхода, которые соответствуют нормальной работе исправной форсунки и рекомендованы производителем топливной аппаратуры данной категории. На режиме тестирования LL таковыми пределами являются значения от 5,7 до 13,9 см³/1000 циклов, на режиме TL – значения от 22,9 до 36,1 см³/1000 циклов и так далее.

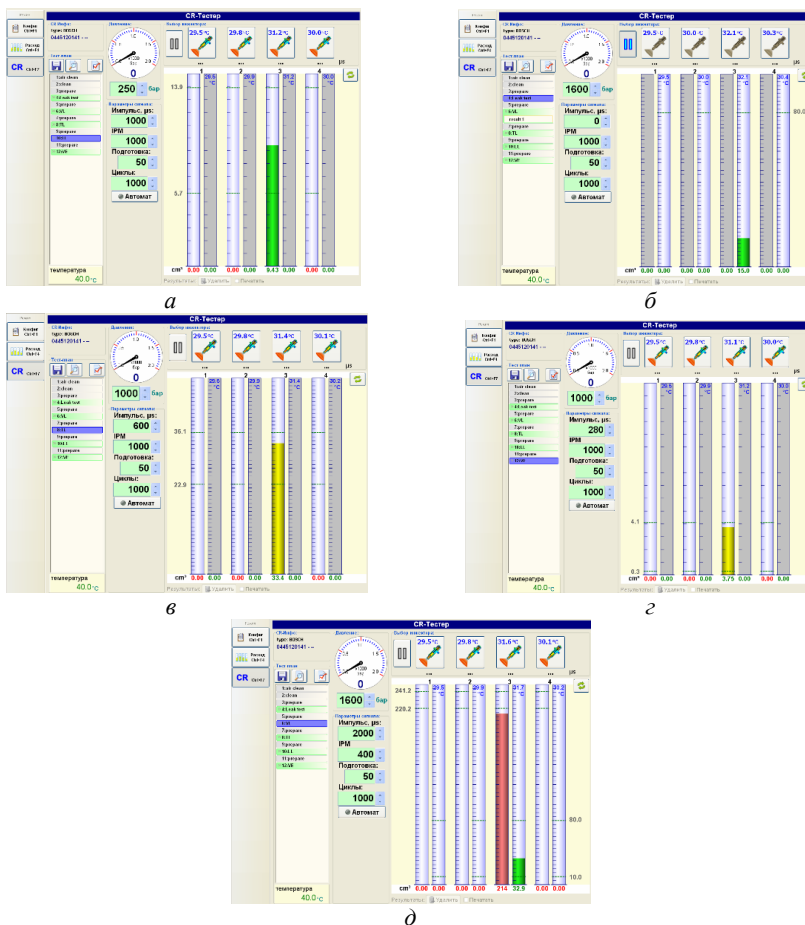


Рисунок 1 – Рабочие окна программы стенда на режимах тестирования соответственно LL (а), LT (б), TL (в), VE (z) и VL (д)

На основании проведенных исследований был сформирован массив данных, представленный в виде лабораторного журнала. Элементы массива данных упорядочены в зависимости от режима нагружения исследуемой форсунки с представлением проекций полученного сигнала на оси пространственной декартовой системы координат. Для каждого элемента набора данных выполнено преобразование Фурье, что позволяет выявить характерные изменения спектра сигнала форсунок (рисунок 2).

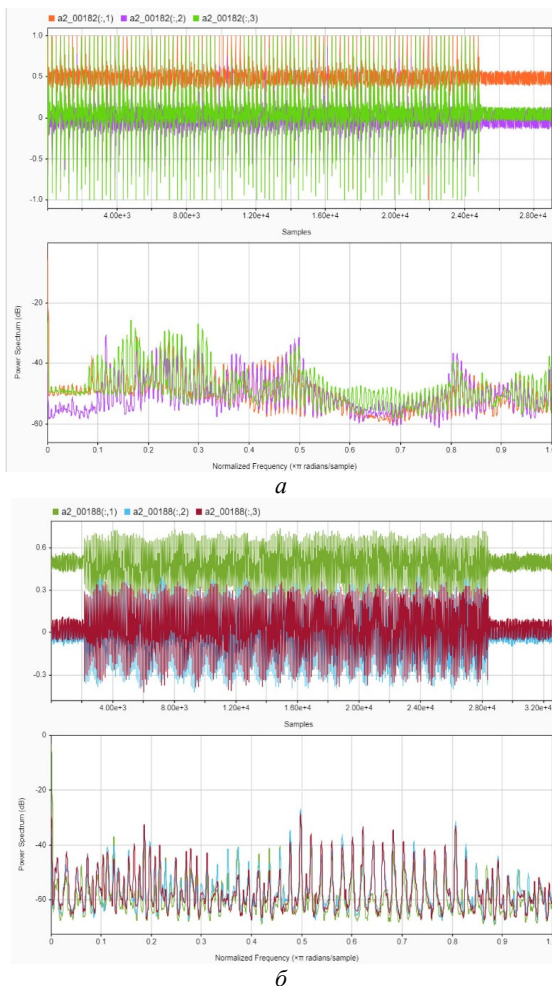


Рисунок 2 – Результаты тестирования форсунки поколения CRIN2 с износом запорного конуса и корпуса на режиме максимальной нагрузки VL (a) и режиме холостого хода LL (б)

В совокупности массив данных лабораторного журнала и спектрограмм, полученных с использованием математического пакета MATLAB, формируют теоретико-практическую базу результатов анализа динамики спектральных, вейвлетных и статистических образов вибросигналов форсунок поколения CRIN2.

Целью дальнейшего программного диагностирования топливных форсунок является выявление в вибросигнале выраженных гармоник с контролем их поведения. Суть данного решения сводится к обработке спектрограмм (скейлограмм) как изображений методами цифровой обработки многомерных сигналов.

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.

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.

Таким образом, предложены этапы вибрационного диагностирования топливных форсунок с использованием многоканальной измерительной системы с гибкой структурой и специализированного диагностического стенда. Предложен метод выявления в вибросигнале выраженных гармоник с контролем их поведения. Результат подхода формируется при обработке спектрограмм (скейлограмм) как изображений методами цифровой обработки многомерных сигналов.

Список использованной литературы

1. 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.
2. Тарасенко, В. Е. Исследование электромагнитного инжектора поколения CRI 2-25NC с меньшими токами управления / В. Е. Тарасенко, О. О. Мухля, А. А. Жешко, А.П. Сырбаков [Электронный ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_131.pdf.
3. 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.
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. 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.

6. Тарасенко, В. Е. Результаты диагностирования форсунки CRIN2 дизеля трактора «Беларус-3522.5» / В. Е. Тарасенко, О. О. Мухля, М. Д. Бобриков, Д. Д. Попека // Проблемы и перспективы развития инженерной науки в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин инженерного факультета и 90-летию докт. техн. наук, профессора, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Зорина Александра Ивановича, г. Ижевск, 13–15 февр. 2024 г. / Удмурдский гос. аграрный ун-т. – Ижевск: УдГАУ, 2024. – С. 47–53.

7. 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.

Summary. Stages of vibration diagnostics of fuel injectors using a multichannel measuring system with a flexible structure and a specialized diagnostic stand are proposed. A method for identifying pronounced harmonics in a vibration signal with monitoring their behavior is proposed. The result of the approach is formed when processing spectrograms (scalegrams) as images using digital processing methods of multidimensional signals.

УДК 631.158

Романюк Н.Н., кандидат технических наук, доцент;

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент;

Еднач В.Н., кандидат технических наук, доцент

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

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ АПК В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Ключевые слова: агротехнический сервис, цифровые компетенции, практико-ориентированное обучение, интеллектуальные технологии, образовательные инновации.

Key words: agrotechnical services, digital competencies, practice-oriented learning, intelligent technologies, educational innovations.

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к подготовке инженерных кадров для агротехнического сервиса, акцентируя внимание на интеграции цифровых компетенций, практико-ориентированном обучении и взаимодействии образовательных учреждений с предприятиями. Предложены