

6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Задачи и упражнения по теории вероятностей. – М. : Высш. шк., 2002. – 448 с.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

Summary. The method of studying the flows of restoring the operability of forage harvesters during their technical service is given. The analysis of the recovery flows of forage harvesters has been performed.

УДК 621.432, 631.372

Тарасенко В.Е., кандидат технических наук, доцент
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. Представлены результаты анализа методов функционального диагностирования автотракторных двигателей, описаны современные приемы контроля износа трущихся деталей в режиме реального времени и виброакустические методы, позволяющие в совокупности обеспечить индивидуализацию оценки состояния двигателя в течение срока эксплуатации. Приведены характерные фазы проявления дефектов для 4-х тактного двигателя, а также спектральные области проявления дефектов.

Abstract. The results of an analysis of methods for functional diagnostics of automobile and tractor engines are presented, modern techniques for monitoring the wear of rubbing parts in real time and vibroacoustic methods are described, which together make it possible to individualize the assessment of the condition of the engine during its service life. The characteristic phases of the manifestation of defects for a 4-stroke engine are given, as well as the spectral regions of the manifestation of defects.

Ключевые слова. Диагностирование, двигатель, метод, износ, датчик, сигнал, вибрация, спектр.

Keywords. Diagnosis, engine, method, wear, sensor, signal, vibration, spectrum.

В мировой практике создания и эксплуатации машин актуальными остаются проблемы обеспечения надежности их работы, безразборного контроля и прогнозирования технического состояния. Увеличение ресурса и повышение надежности машин и механизмов предполагают переход на эксплуатацию технических объектов по фактическому состоянию, а это возможно только при наличии эффективных методов и средств диагностирования [1].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение современных средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования машин и механизмов в народном хозяйстве [1].

Достаточно полная классификация методов диагностирования авто-тракторных двигателей изложена в работах Мигалья В.Д. [2, 3], где рассмотрены интеллектуальные и инструментальные методы. Наибольший интерес в виду высокой степени достоверности данных представляют группы методов контроля износа трущихся деталей и смазки, виброакустические, энергетические и гидрогазоаэродинамические методы.

Известна малогабаритная система встроенного контроля "АИДА" [4, 5] для определения степени износа кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и цилиндропоршневой группы (ЦПГ) ДВС в режиме реального времени и прогнозирования их остаточного ресурса. Диагностическими признаками в данном случае являются концентрация, размер и материал продуктов износа. Они позволяют определить возможные места и стадии износа, а изменение концентрации показывает интенсивность развития неисправностей. При этом происходит осаждение из масла продуктов износа (Fe, Pb, Sn) в рабочий объем датчика с определением их состава и массы электронным блоком. Данная система имеет высокую чувствительность (около 0,0001 г. массы частиц износа в рабочем объеме датчика), большой диапазон регистрации металлов и сплавов и высокую надёжность.

Новые комбинированные пьезоэлектрические датчики (на основе монокристаллического кварца) и алгоритмы оценки состояния масла (ОСА) способны определять его состояние на основе параметров, которые непосредственно измеряются в масле (динамическая вязкость, удельная плотность, диэлектрическая проницаемость, проводимость, уровень масла и его температура) [18]. В отличие от общепринятых концепций и алгоритмов оценки состояния масла, в настоящее время можно за счет интеграции всей системы аппаратного и программного обеспечения управления состоянием масла мобильных машин более конкретно и точно адаптировать интервалы технического обслуживания и замены масла к двигателю соответствующего мобильного средства и режиму его эксплуатации.

Исследования многих отечественных и зарубежных ученых позволяют утверждать о том, что вибрации являются носителями уникальной информации о тончайших нюансах 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. После устранения дефекта вибрации существенно ослабевают [6].

Вибросигналами оценивают зазоры и некоторые дефекты сопряжений. Но и один механизм эмиссирует широкий спектр ревербирующих сигналов от десятка Гц до сотен кГц и МГц, т.е. образуется широкополосный виброакустический фон, в котором полезный сигнал скрыт. В нем выделить нужный сигнал затруднительно, отношение полезного вибросигнала к фону порой не велико, добротность диагностики порой не высока [7].

При виброконтроле получают разнообразные, порой трудно понимаемые спектры, осциллограммы и другие характеристики сигналов, хотя некоторые из них имеют информативные качественные признаки и количественные характеристики. Поэтому чтобы из вибрационного фона выделить сигнал от одного механизма при работе в агрегате нескольких требуются установка самого информативного режима работы объекта контроля, специальная установка вибродатчиков, частотная и временная селекция сигналов в виброаппаратуре [7].

Анализ литературных источников [1, 6, 8-11, 14-17] позволил установить характерные фазы проявления дефектов для 4-х тактного двигателя (рисунок 1), а также спектральные области проявления дефектов (рисунок 2).

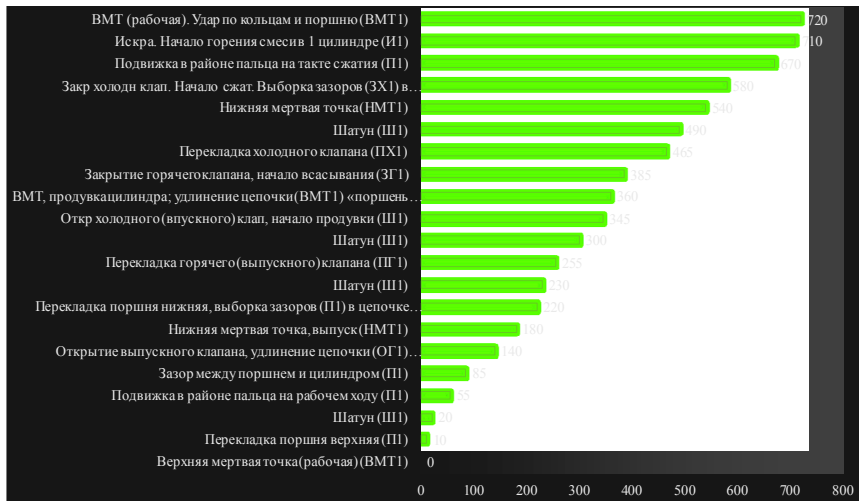


Рисунок 1 – Характерные фазы проявления дефектов для 4-х тактного двигателя (по углу поворота коленчатого вала двигателя)

В рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем БГАТУ выполнен комплекс работ по испытанию форсунок CRIN2 автотракторных дизелей различной наработки (в том числе и новой форсунки) и последующему анализу их вибрационных характеристик.

Секция 1 – Технический сервис машин и оборудования

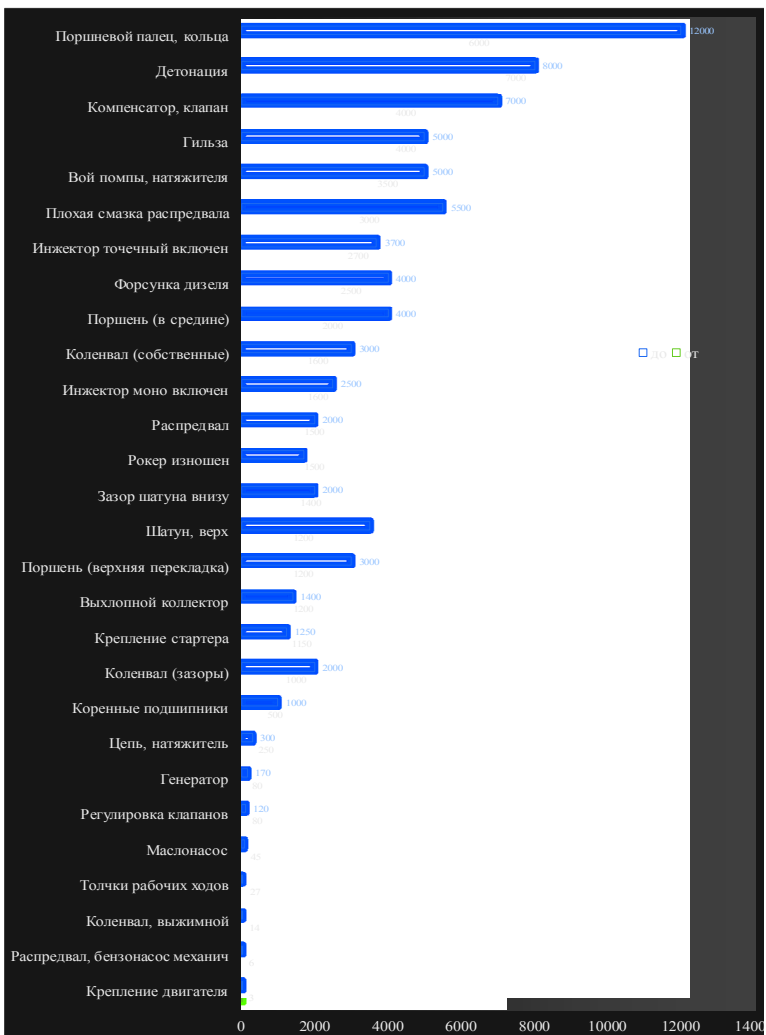


Рисунок 2 – Характерные спектральные области проявления дефектов

На стенде CR-jet 4E (Dieselland) с использованием разработанной многоканальной измерительной системы с гибкой структурой испытаны форсунки CRIN2 Bosch (типовые номера 0445120141 и 0445120074) при давлении впрыска в них 158, 500 и 1600 бар [7, 12]. При этом вибродатчики MPU9150 крепили на форсунках, а для акустики использовали цифровой миниатюрный MEMS-микрофон INMP621. Разработанный прибор

отображает в режиме реального времени вибросигналы относительно системы координат x, y, z , создает АЧХ быстрым преобразованием Фурье. Прибор сохраняет сигналы для их последующей вейвлет-обработки. Изначально они записывались в бинарные файлы с расширением `bin`, а позднее – в `wav`-файлы с фиксацией момента перехода на следующий тест-план. Фиксировали температуру форсунок, а их шум записывали в `wav`-файл [7].

Разложение исходного сигнала на уровни и регистрация амплитуд колебаний, характерных определенным уровням разложения, позволяет составить характерные частоты колебания элементов форсунки. Изучение виброакустических характеристик рассматриваемых форсунок (как новых, так и с наработкой) и регистрация изменения характерных частот в зависимости от наработки, позволяет диагностировать техническое состояние каждой рассматриваемой форсунки и прогнозировать ее ресурс. Методами обработки сигнала могут служить как спектральный анализ, так и вейвлет-преобразование.

В настоящее время осуществима регистрация процесса индицирования двигателя в режиме реального времени, связанного с записью быстроизменяющихся давлений в его цилиндрах и внутренних полостях. Это позволяет с наибольшей достоверностью определять среднее индикаторное давление и индикаторную мощность двигателя, оценивать особенности отдельных рабочих процессов, механические потери на трение, показатели политроп сжатия и расширения, жесткость работы двигателя и иные закономерности.

В связи с этим упомянутая выше многоканальная измерительная система дополняется функциональными возможностями по регистрации и оценке процесса индицирования.

Также проводятся работы по оценке достаточно нового метода контроля давлений в цилиндрах двигателя и внутренних полостях с помощью свечей накаливания с датчиками давления в цилиндре. Для экспериментальных работ приняты высокотехнологичные свечи BERU 0103010907, серийно устанавливаемые на автомобили OPEL.

Таким образом, при оценке состояния систем и механизмов двигателя наиболее результативным и достоверным является комплексный подход, когда данные, к примеру, виброакустических наблюдений дополняются и сопоставляются с данными методов контроля износа конкретных трущихся деталей и результатами индицирования. За счет управления состоянием масла мобильных машин в режиме реального времени стало возможным точно адаптировать интервалы замены масла в соответствии с его фактическим состоянием к соответствующему мобильному средству и режиму его эксплуатации.

Методами обработки сигнала могут служить как спектральный анализ, так и вейвлет-преобразование. В последующих исследованиях целесообразно сочетание разработанного и известных методов диагностирования автотракторных двигателей.

Список использованной литературы

1. Балицкий, Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова [и др.]. – М.: Наука, 1984. – 119 с.
2. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учебное пособие в 3-х томах. Т.1. Объекты и методы диагностирования / В.Д. Мигаль. – Харьков: Майдан, 2014. – 459 с.
3. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей: учебное пособие в 3-х томах. Т.2. Неисправности, параметры и средства диагностики / В.Д. Мигаль. – Харьков: Майдан, 2014. – 403 с.
4. Матвеевский, Б.Р. Метод контроля износа узлов трения / Б.Р. Матвеевский, В.Р. Матвеевский // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011, № 1. С. 14-16.
5. Устройство для контроля износа пар трения: пат. РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, МПК (2006.01) G01N 3/56 / Б.Р. Матвеевский, В.Р. Матвеевский. – № 77 438 U1; заявл. 30.04.2008; опубл. 20.10.2008.
6. Коновалов, А.И. Диагностируем на «Дельфине». Методическое пособие / А.И. Коновалов, О.Н. Лукьяненко // Луганск. – 2006. – 100 с.
7. Жешко, А.А. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А.А. Жешко, В.Е. Тарасенко, О.Ч. Роллич, А.В. Дунаев // Технический сервис машин. – 2021. – Т.59. № 1 (142). – С. 55–64.
8. Мордасов, В.И. Лазерная виброакустическая диагностика дефектов многослойных конструкций : учеб. пособие / В.И. Мордасов, Н.А. Сазонникова, С.А. Сорокина [и др.]. – Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2008. – 80 с.
9. Герике, П.Б. Анализ виброакустических характеристик двигателей внутреннего сгорания / П.Б. Герике // Горные машины и оборудование. – 2014. – №2. – С. 15–18.
10. Щеглов, В.А. О возможности диагностики цилиндро-поршневой группы ДВС методом частотно-амплитудного анализа сигнала вибрации с использованием вейвлет-анализа / В.А. Щеглов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т.1. № 3. – С. 1–8.
11. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – М.: 1996. – 276 с.
12. 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 Международной науч.-практич. конф., посвящённой 65-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин инженерного факультета и 90-летию д.т.н., профессора, почётного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Зорина Александра Ивановича (Ижевск, 13–15 февраля 2024 года). – Ижевск : УдГТУ, 2024. – С. 47–53.
13. Тарасенко, В.Е. Анализ вибрационных характеристик форсунок CRIN2 автотракторных 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.
14. Jorge Duarte-Forero. Failure analysis in single-cylinder diesel engine SK-MDF300 through acoustic emissions / Duarte-Forero Jorge, Sergio Andrés Ramón-Ramón, Guillermo

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.