

УДК 004.9:681.518.5

О ФОРМИРОВАНИИ ЭТАЛОНОВ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТАЦИИ С ПРИБОРАМИ МНОГОКАНАЛЬНОГО ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАШИН И АГРЕГАТОВ И ИХ УЗЛОВ

Ткаченко В. В., Филипеня О. Л., Храбров В. В.

*ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Рассмотрены пути повышения точности и достоверности приборного оценивания неисправностей в работе механизмов и узлов оборудования на основе предлагаемых аппаратных и программно-алгоритмических решений для экспертных систем вибродиагностирования.

Ключевые слова: вибродиагностика, спектральный анализ, распознающий эталон.

ON THE CREATION OF SIGNAL RECOGNITION REFERENCES FOR AUTOMATIC FAULT DETECTION OF MACHINES AND AGGREGATES, AND THEIR COMPONENTS USING DEVICES FOR MULTI CHANNEL VIBRATION DIAGNOSTICS

Tkachenko V., Filipenia O., Khrabrov V.

*United Institute of Informatics Problems of National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The ways based on the proposed hardware and software-algorithmic for expert vibration diagnostics systems solutions of improving the accuracy and reliability of the instrument evaluation of malfunctions in the operation of mechanisms and components of equipment are considered.

Key words: vibration diagnostics, spectral analysis, recognition reference.

*Адрес для переписки: Ткаченко В. В., ул. Сурганова, 6, г. Минск 220012, Республика Беларусь
e-mail: tkach@newman.bas-net.by*

Для контроля технического состояния производственного оборудования в процессе его эксплуатации, ремонта и обслуживания широко применяются приборы, предназначенные для автоматического выявления дефектов в работе механизмов и узлов оборудования, приводящих к изменению параметров их вибраций. При этом в качестве анализируемых параметров сигналов и вибрационных нагрузок в большинстве случаев выбираются характеристики во временной или спектральной области.

Примером такого подхода может служить экспертная система и программно-технический комплекс (ПТК) виброакустического диагностирования (рисунок 1) состояния оборудования: двигателей внутреннего сгорания, трансформаторов, электромоторов, компрессоров, подшипниковых опор и т. д. [1]. В организации работы с такой системой создается и используется база данных эталонных форм сигналов и их спектров, позволяющая автоматически выявлять дефекты заданных классов как в условиях его лабораторных испытаний, так и в «полевых» условиях работы оборудования с применением Интернет-коммуникаций. В данном примере база эталонных распознавания для дефектации создана с использованием пьезоэлектрических датчиков вибросигналов акустического диапазона и может быть расширена в части библиотечных эталонов по усмотрению пользователя системой в зависимости от типов и моделей тестируемого оборудования. К основным особенностям проектирования приборов такого класса относится циклический характер

рабочих режимов оборудования и возможность эффективного применения цифровых методов Фурье-анализа спектрального состава для выявления «искомых» составляющих спектра в заданном окне временного цикла.

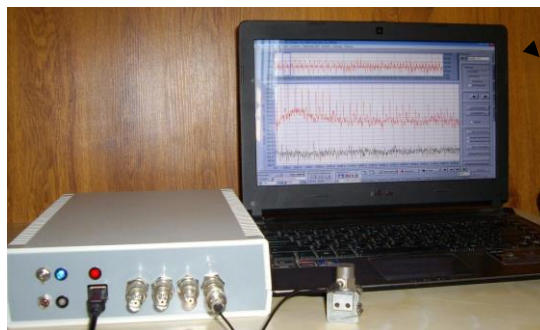


Рисунок 1 – Экспериментальный образец ПТК виброакустического диагностирования с видом пользовательского окна на экране для эксперта

В то же время достижение необходимой точности или достоверности распознавания дефектов требует при проектировании прибора особых мер повышения отношения сигнал/шум, к которым могут быть отнесены также меры адаптирующей корректировки эталонов распознавания применительно к конкретным условиям работы оборудования с высоким уровнем «посторонних» вибраций и медленным со временем изменением формы сигнала, в том числе дрейфа постоянной составляющей и аддитивного шум, на фоне которых выделение информативных признаков может

быть затруднено из-за близости значений оценок. Одним из способов снижения влияния шумов является формирование эталонов распознавания «картинного» типа в виде изображений.

Возможности получения и использования эталонов «картинного» типа представлены на рисунках 2 и 3 по результатам экспериментов с датчиками индукционного типа для контроля параметров вибраций. Датчики представляют собой катушки индуктивности, установленные на тестируемом оборудовании возле вала вращения, на оси которого закреплен постоянный магнит. Макетирование выполнено с двумя вариантами исполнения катушек, соосных с осью вращения: катушка в форме цилиндра, и торообразная катушка на кольцевом феррите.

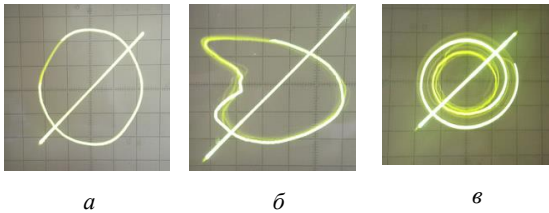


Рисунок 2 – Фазовые портреты осевых биений в установившихся режимах вращения внутреннего кольца подшипников: нового (а) и изношенного (б), и в переходном процессе с включени мотора (в)



Рисунок 3 – Фазовые портреты осевых биений в установившихся режимах вращения вала электродвигателя с разной степенью износа

В первом варианте (рисунок 2) э.д.с. катушки непосредственно на осциллограмме отражает биения оси. Во втором варианте, токи наводимые в катушке, создают переменное магнитное поле, величина которого с четырех сторон тора снимается датчиками Холла (рисунок 3). Фазовые портреты, подобные фигурам Лиссажу, демонстрируются X-Y осциллограммами, формы которых меняются в зависимости от биений вала, связанных с неисправностями. Именно эти «картинки» и могут служить тестовыми и распознающими «паттернами» для выявления тех или иных дефектов без использования или в дополнение к спектральному анализу.

При этом, для обоих случаев анализа по фазовым портретам или спектрам, отсутствие динамической подстройки распознающих эталонов в соответствии с медленным дрейфом формы самих сигналов может привести к неправильному ре-

зультату распознавания. Для решения этой проблемы нами предложено введение в схему формирования эталонов распознавания корректирующего или оптимизирующего (средневзвешенного) эталона:

$$c = (1/M) \sum^m r, \quad (1)$$

где ${}^m r$ – распознающий эталон для класса m ($m = 1, 2, 3, \dots, M$), который можно определять как средневзвешенный вектор (M – количество отсчетов) в пределах действия его класса в виде:

$${}^m r = (1/b) \sum^m t \quad (2)$$

и перед оцениванием подвергать обработке по следующему правилу:

$$r_k = r^* - (r^*, c^*) c_i \quad \text{и} \quad a_k = a^* - (a^*, c^*) c, \quad (3)$$

где a_i – анализируемые выборки, представленные множествами отсчетов $k_i, k_i + 1, k_i + 2, \dots, k_i + A - 1$ из сигнала (i – порядковый номер распознаваемой выборки, A – количество отсчетов, анализируемых в процессе распознавания).

Формирование одно- и двумерных эталонов может выполняться по правилам [2], позволяющим учесть ранжирование обучающих выборок по приоритету, например:

$$r_j = r^*_{j-1} + j^{-1} (t_j^*, r_{j-1}^*) (t_j^* - r^*_{j-1}). \quad (4)$$

Тогда сама оценка осуществляется на текущем шаге обработки i -ой выборки сигнала по следующему правилу:

$$\varepsilon_k = (r_k^*, a_k^*) n^R / n^A, \quad (5)$$

где коэффициенты n^R и n^A представляют собой нормы векторов r_k^* , a_k^* с предыдущего шага.

Согласно формуле (3) алгоритм распознавания с оптимизирующей коррекцией представляет собой линейные преобразования, "вытягивающие" из распознающих эталонов и анализируемых сигналов полезную информацию с точки зрения различения состояний объекта в условиях действия посторонних вибраций и шумов.

Литература

1. Система виброакустической диагностики технического состояния производственного оборудования / Н. В. Грунтович [и др.] // Принттехнологии и медиакоммуникации : тезисы 84-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. – Минск : БГТУ, – 2020. – С. 20–21.
2. Храбров, В. В. Модель нейроподобной системы обработки сигналов в парадигме векторной психофизиологии / В. В. Храбров, В. В. Ткаченко // Big Data and Advanced Analytics: сборник научных статей VIII Международной научно-практической конференции, (Минск, 11–12 мая 2022 года), УО БГТУ. – Минск : Бестпринт, 2022 – С. 32–40.