

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) вибродиагностирования (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.

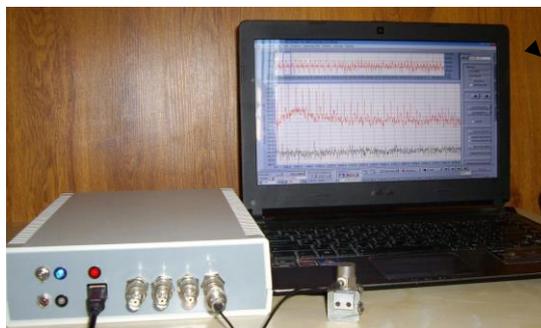


Рисунок 1 – Экспериментальный образец ПТК виброакустического диагностирования с видом пользовательского окна на экране для эксперта

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.

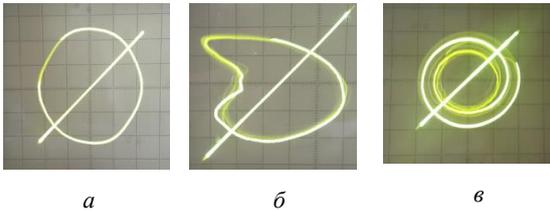


Рисунок 2 – Фазовые портреты осевых биений в установившихся режимах вращения внутреннего кольца подшипников: нового (а) и изношенного (б), и в переходном процессе с включени мотора (в)

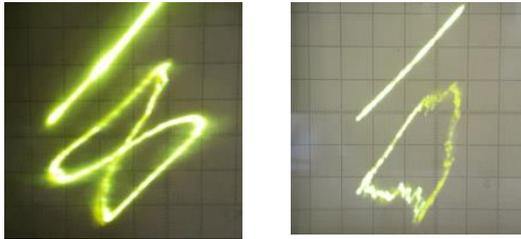


Рисунок 3 – Фазовые портреты осевых биений в установившихся режимах вращения вала электродвигателя с разной степенью износа

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.