

УДК 004.6+534-16

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДЛИТЕЛЬНЫХ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

*П. Ю. БРАНЦЕВИЧ, Е. Н. БАЗЫЛЕВ, С. Ф. КОСТЮК*

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Минск, Беларусь

## ASSESSMENT OF MECHANISM TECHNICAL CONDITION BASED ON THE ANALYSIS OF LONG VIBRATION SIGNALS

*P. J. BRANCEVICH, Y. N. BAZYLEU, S. F. KASTSIUK*

### Аннотация

В результате сбора в течение длительного периода времени данных от вибродатчиков, установленных на множестве однотипных устройств, получается большой объем данных для анализа. Тщательно проведенная обработка этих данных создает предпосылки для выявления технических проблем на ранней стадии и принятия оперативных мер по их устранению. Рассмотрены примеры обработки данных систем вибромониторинга.

### Ключевые слова:

вибрация, мониторинг, состояние, обработка, сигнал.

### Abstract

As a result of collecting over a long period of time data from vibration sensors, installed on a plurality of similar devices, It obtained a large amount of data for analysis. Carefully conducted by processing these data, a prerequisite for the identification of technical problems at an early stage and operational measures to address them. Examples of data processing systems, vibration monitoring.

### Key words:

vibration, monitoring, condition, processing, signal.

### Введение

При решении задач оценки технического состояния механизмов и агрегатов с вращательным движением, параметры вибрации являются одними из важнейших. Причем, при длительном безостановочном функционировании технического объекта требуется непрерывное наблюдение или слежение за изменением его вибрационных параметров [1].

Стандартами определены правила проведения непрерывного контроля и мониторинга вибрационного состояния сложных и дорогостоящих агрегатов (электрические турбогенераторы, газоперекачивающие установки, компрессоры и т. п.) в ходе их эксплуатации [2–3]. Для решения этих задач применяют многоканальные системы и комплексы, которые определяют, отображают и регистрируют на каком-то носителе информации значения

параметров вибрации через небольшие (не более нескольких секунд) промежутки времени, а также выполняют допусковый контроль, функции сигнализации и, в определенных применениях, защитного отключения [1, 4].

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные, как стандартные так и сложные алгоритмы защиты, ориентированные на конкретные типы дефектов и ситуаций. Это, в свою очередь, позволяет избежать необоснованных («ложная тревога») срабатываний защитного отключения и не допустить «пропуска дефекта».

Реализован и прошел апробацию на ряде турбоагрегатов алгоритм защитного отключения по вибрации, в котором учитывается несколько факторов:

- низкочастотная составляющая вибрации;
- оборотные составляющие вибрации;
- высокочастотная составляющая вибрации.

Сигнал на защитное отключение контролируемого механизма вырабатывается в том случае, если он выработан по одному из указанных критериев, или по нескольким критериям одновременно [5].

В результате функционирования компьютерных комплексов вибрационного контроля и мониторинга накапливаются большие объемы данных, содержащих информацию об изменении во времени различных вибрационных параметров для всех точек контроля [6, 7]. Они позволяют выявить изменение технического состояния контролируемого объекта или провести анализ причин, приведших к неисправности или отказу оборудования. Но более полную информацию об эксплуатируемых механизмах содержат непрерывные вибрационные сигналы, регистрируемые на протяжении длительных временных интервалах и в разных режимах работы.

#### **Анализ длинных реализаций вибрационных сигналов**

Решение задачи проактивного технического обслуживания производственного оборудования с быстрым реагированием требует непрерывного слежения за вибрацией его узлов и обнаружения самых незначительных изменений в вибрационных сигналах, которые могут быть индикатором начальной стадии износа и дефектов.

Регистрацию таких вибрационных сигналов можно осуществить используя измерительно-вычислительный комплекс «Тембр-М» на базе мобильного компьютера, модуля АЦП с USB интерфейсом, виброизмерительных каналов с первичными пьезоэлектрическими преобразователями и проблемно-ориентированного программного обеспечения [8, 9]. Также ввод и сохранение длительных вибрационных сигналов производится с помощью специальных сборщиков-регистраторов [10]. На рис. 1 показан пример такого сигнала.



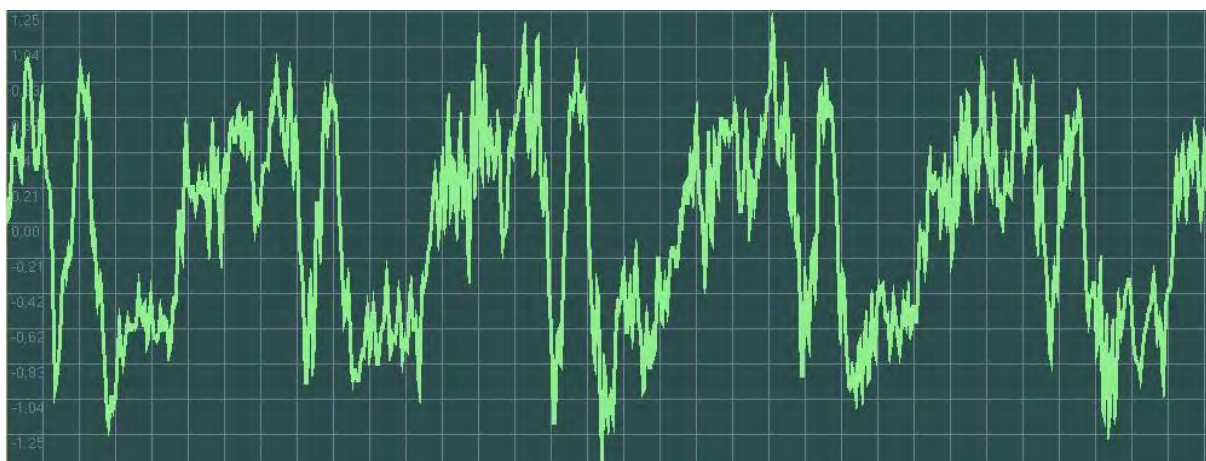


Рис. 1. Исходный вибрационный сигнал в единицах виброускорения

Затем выполняется цифровая обработка зарегистрированного сигнала. Её целью может быть выявление каких-то аномальных всплесков или явлений [7], или вычисление определенных параметров вибросигнала через заданные временные интервалы (построение их трендов во времени). Такими параметрами, например, могут быть: амплитуды спектральных составляющих вибросигнала на фиксированных частотах (например,  $f_1=25$  Гц,  $f_2=50$  Гц, ... ,  $f_k = 2000$  Гц); мощность или среднее квадратическое значение (СКЗ) вибрации в полосе частот  $f_n \div f_k$  (может задаваться несколько полос); пик-фактор; эксцесс; асимптота; коэффициент модуляции огибающей вибросигнала; СКЗ составляющих вибрации, выделяемых вейвлетами с определенными центральными частотами своих АЧХ. При наличии высокопроизводительных вычислителей обработка вибросигнала может быть произведена параллельно с его регистрацией.

На рис. 2 в качестве примера представлен часовой тренд ряда параметров, вычисленных при обработке вибрационного сигнала, полученного при контроле вибрации подшипниковой опоры турбоагрегата.

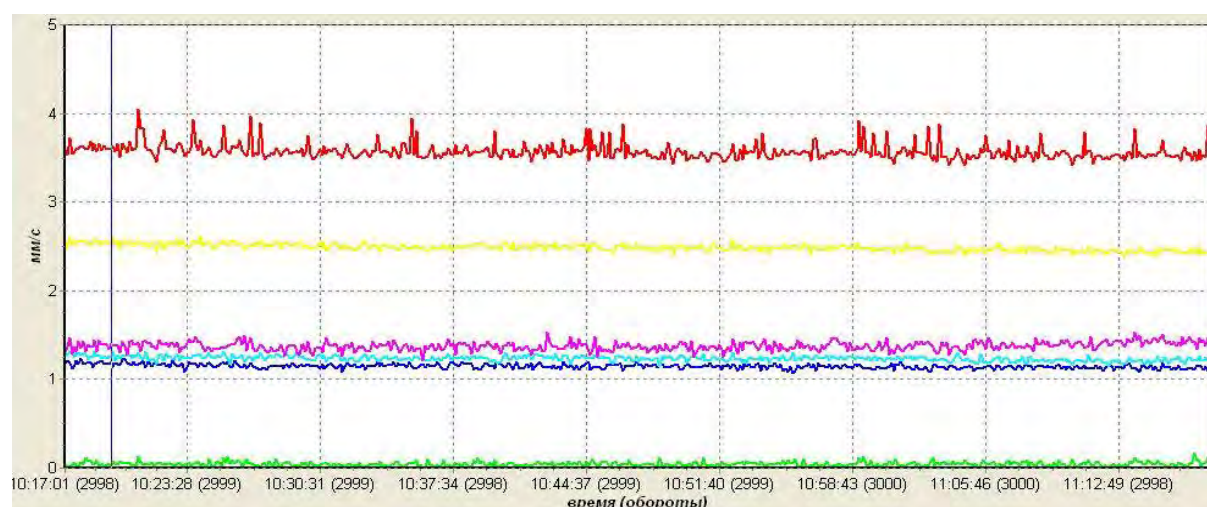


Рис. 2. Изменение СКЗ виброскорости в частотной полосе 10–1000 Гц и СКЗ частотных составляющих 50, 100, 150, 200, 25 Гц

Визуальный анализ трендов параметров вибрации позволяет обнаружить их возможные изменения и, соответственно, изменение технического состояния контролируемого объекта.

Однако его проведение связано со значительными временными затратами технического специалиста, к тому же, желательно получить какие-то численные оценки обрабатываемых данных. Поэтому актуальна автоматизация этой процедуры.

Статистическая обработка данных может быть выполнена с помощью достаточно простого программного средства. На рис. 3 показан пример такой обработки, в результате которой получена гистограмма распределения СКЗ виброскорости по уровню и численные значения, определяющие отличительные особенности его изменения. Эти вычисленные значения можно принять в качестве вектора информативно-значимых параметров для системы поддержки принятия решений по оценке изменения технического состояния контролируемого объекта.



Рис. 3. Результаты обработки суточного временного тренда СКЗ виброскорости подшипника генератора при его нормальной работе

Параметр «Среднее значение виброскорости за период наблюдения» –  $V_{med}$ , может быть использован для общей оценки технического состояния контролируемого объекта. Для этого применяется решающая функция [11]:

$$FR(V_{med}) = \begin{cases} 0,25, & \text{если } V_{med} \leq V_A; \\ 0,5, & \text{если } V_A < V_{med} \leq V_B; \\ 0,75, & \text{если } V_B < V_{med} \leq V_C; \\ 1,0, & \text{если } V_C < V_{med}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_A, V_B, V_C$  – значения СКЗ виброскорости, соответствующие граничным уровням технического состояния, причем  $V_A < V_B < V_C$ . Конкретные величины этих уровней могут определяться: стандартами; путем анализа изменения вибрационного состояния достаточно большого числа однотипных объектов; на основе экспертных оценок. Уровни обычно отличаются друг от друга на 4–8 дБ.

Если  $FR(V_{med}) = 0,25$ , то механизм находится в очень хорошем вибрационном состоянии (это обычно новые (после ремонта), прошедшие приработку машины). Если  $FR(V_{med}) = 0,5$ , то механизм находится в хорошем вибрационном состоянии и может эксплуатироваться без временных ограничений. Если  $FR(V_{med}) = 0,75$ , то на эксплуатацию механизма накладываются ограничения на допустимое время эксплуатации, обычно от нескольких дней до месяца. Если  $FR(V_{med}) = 1$ , то состояния механизма аварийно-опасное и требуется оперативное реагирование, вплоть до его остановки.

Однако, предоставляя обобщенную характеристику вибросостояния объекта на длительном временном интервале, параметр  $V_{med}$  не отражает возможные изменения интенсивности вибрации на отдельных режимах работы, когда могут наблюдаться её существенные повышения, определяемые «максимальным значением» –  $V_{max}$ . При оценке состояния по отношению к  $V_{max}$  также можно применить решающую функцию вида (1), учитывая при этом режимные факторы и предварительно удалив из выборки возможные случайные выбросы. Изменчивость  $V_{med}$  характеризуется «СКЗ разброса значений виброскорости за период наблюдения» –  $S_V$ , а также диапазоном изменения –  $V_d$ . Установить граничные уровни решающей функции для этих параметров значительно сложнее. В качестве  $S_{VA}, V_{dA}$  могут быть приняты, увеличенные на 20–25 %, значения  $S_V, V_d$ , полученные при эксплуатации новых, приработанных машин, при прохождении ими всех типовых режимов эксплуатации. Границы зон *B* и *C* целесообразно выбирать на основе результатов длительной эксплуатации объектов контроля и с учетом экспертных оценок. Рост параметра  $S_V$  или  $V_d$  свидетельствует об определенном изменении технического состояния объекта, даже при незначительном увеличении  $V_{med}$ .

### **Заключение**

Непрерывный анализ вибрационного состояния сложного производственного оборудования создает предпосылки для разработки новых способов решения задач оценки технического состояния и диагностики. Аналогичная, рассмотренной, обработка других параметров вибрационных сигналов, которые являются информативными признаками для определенных дефектов, позволяет сделать выводы об их развитии.

Однако следует отметить, что получить хорошие, с практической точки зрения, результаты, используя рассмотренный подход, можно только при обоснованном выборе пороговых уровней для решающих функций по

отдельным параметрам, а также весовых коэффициентов при вычислении обобщающих решающих функций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль : справочник : в 7 т. Кн. 2. Вибродиагностика / Ф. Я. Балицкий [и др.]. – М. : Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. **ГОСТ ИСО 10816–1–97.** Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Ч. 1. Общие требования. – Введ. 1999–07–01. – Минск. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : ИПК Изд-во стандартов, 1998. Стандартинформ, 2007. – 18 с.
3. **ГОСТ 25364–97.** Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопроводов и общие требования к проведению измерений. – Введ. 1999-07-01. – Минск. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации : ИПК Изд-во стандартов, 1998. Стандартинформ, 2011.– 12 с.
4. **Бранцевич, П. Ю.** ИВК «Лукомль -2001» для вибрационного контроля / П. Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 12 (69). – С. 19–21.
5. **Brancevich, P.** Organization of the vibration-based monitoring and diagnostics system for complex mechanical system / P. Brancevich, X. Miao, Y. Li // 20th International Congress on Sound and Vibration. Bangkok, Thailand, 7–11 July 2013. – Curran Associates, Inc., NY 12571 USA. – P. 612–619.
6. **Фрэнкс, Б.** Укрощение больших данных: как извлекать знания из массивов информации с помощью глубокой аналитики : пер. с англ. А. Баранова / Б. Фрэнкс. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 352 с.
7. **Бранцевич, П. Ю.** Большие данные в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / П. Ю. Бранцевич, Е. Н. Базылев // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2016. – № 3. – С. 28–41.
8. **Бранцевич, П. Ю.** Методика применения измерительно-вычислительного комплекса "Тембр-М" при оценке вибрационного состояния механизмов и агрегатов / П. Ю. Бранцевич // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2014) : сб. статей IV междунар. заочной науч.-техн. конф. / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти : ПВГУС, 2014. – С. 55–67.
9. **Бранцевич, П. Ю.** Решение задач вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния механизмов и турбоагрегатов с помощью компьютерных комплексов / П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк, Е. Н. Базылев // Доклады БГУИР. – 2015. – № 2 (88). – С. 148–152.
10. **Бранцевич, П. Ю.** Измерительно-вычислительная система распределенного сбора и централизованной обработки виброметрических данных / П. Ю. Бранцевич // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления : сб. материалов 12-ой науч.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов / Под ред. В. Н. Азарова. – М. : МГИЭМ, 2000. – С. 170–171.
11. **Фор, А.** Восприятие и распознавание образов / А. Фор. – М. : Машиностроение, 1989. – 272 с.

E-mail: [branc@bsuir.edu.by](mailto:branc@bsuir.edu.by)