

ПОЛУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И СИГНАЛОВ



П.Ю. Бранцевич

Доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий БГУИР, кандидат технических наук, доцент



Е.Н. Базылев

Ассистент кафедры программного обеспечения информационных технологий БГУИР



С.Ф. Костюк

Заведующий лабораторией систем вибродиагностики БГУИР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
E-mail: branc@bsuir.edu.by

Abstract. Vibration sensors installed on a set of similar devices produce large volume of data for the analysis over long period of time. Accurate analysis of data allows to identify technical malfunctions at an early stage and efficient measures for their elimination. This paper shows examples of data analysis of vibration monitoring systems that control operation of turbine units

Введение. Для обеспечения достаточно комфортных условий существования человека требуется надежная, безаварийная и, при этом, экономически эффективная работа многих сложных, материалоемких, энергопотребляющих, большеразмерных технических объектов и производств. На таких объектах эксплуатируется большое количество дорогостоящего оборудования: двигатели, турбины, генераторы, насосы, компрессоры, вентиляторы. В ходе их работы осуществляется контроль разнообразных параметров, по которым можно судить об их исправности и работоспособности. При этом, параметры вибрации являются одними из важнейших и подлежат обязательному, в том числе и непрерывному, контролю для многих механизмов и агрегатов роторного типа, в основу механического функционирования которых положено вращательное движение [1-6].

Системы непрерывного контроля (мониторинга) определяют параметры вибрации в точках установки датчиков через небольшие промежутки времени (от нескольких секунд до долей секунды) и реагируют на возникновение аномальных ситуаций, проявляющихся в изменении вибрационного состояния, путем выработки сигналов управления устройствами сигнализации и защитного отключения. В качестве основных параметров вибрации для принятия таких решений используется среднее квадратическое значение (СКЗ) виброскорости и амплитуды ряда частотных составляющих вибросигнала, кратных частоте вращения вала (ротора) [1,7,8].

Однако факт возникновения ситуации, требующей останова технического объекта, во многих случаях имеет неоднозначное отображение в параметры вибрации. Стандартизованные критерии защиты отражают наиболее общие взаимосвязи [6,9], полученные на основе длительного опыта эксплуатации и исследования механизмов с вращательным движением, и далеко не всегда в полной мере могут удовлетворить эксплуатирующий и управляющий персонал.

Системы вибрационного контроля и защиты, построенные на базе компьютерной техники, позволяют реализовать разнообразные 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 [10].

Также 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 [11,12]. Получаемые таким образом данные в определенной степени соответствуют современной концепции «больших данных». Они позволяют выявить изменение технического состояния контролируемого объекта или провести анализ причин, приведших к неисправности или отказу оборудования. Гораздо более полную информацию об эксплуатируемых механизмах содержат непрерывные вибрационные сигналы, регистрируемые на протяжении длительных временных интервалах и в разных режимах работы. Они в полной мере являются «большими данными» [13].

Обработка данных вибрационного мониторинга. Лабораторией систем вибродиагностики БГУИР разработан и внедрен на основных генерирующих электростанциях Беларуси компьютерный измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) серии «Лукомль», реализующий функции вибрационного контроля, защиты и мониторинга турбоагрегатов [8,11,12,14]. ИВК решает задачи текущего штатного вибрационного контроля и защиты [6,9], а также создает суточные файлы, в которых сохраняется большой объем данных, представляющих изменение параметров вибрации в единицах виброскорости во времени (частота вращения вала, СКЗ виброскорости в частотной полосе 10-1000 Гц, значения амплитудных и фазовых параметров до десяти спектральных составляющих вибрации, кратных частоте вращения (порядковый анализ), пик-фактор исходного сигнала).

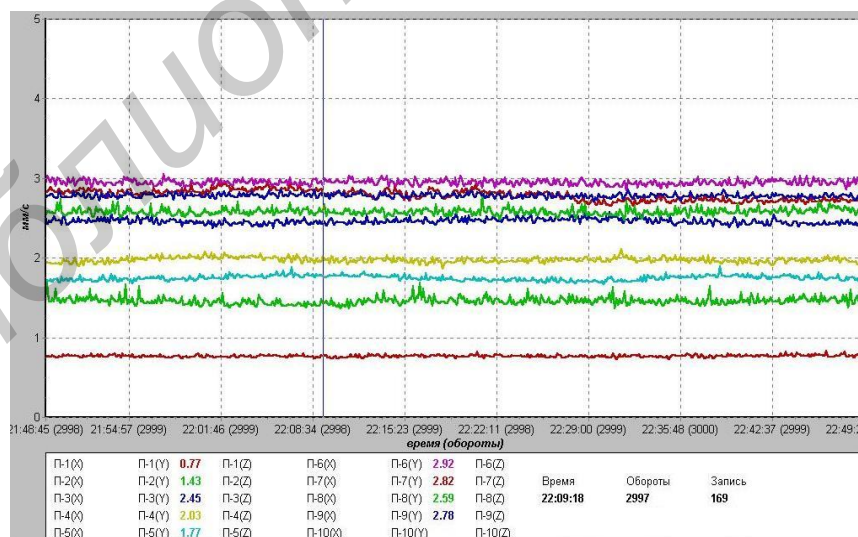


Рис. 1. Тренд СКЗ виброскорости (вертикаль) подшипниковых опор турбоагрегата при его нормальной работе

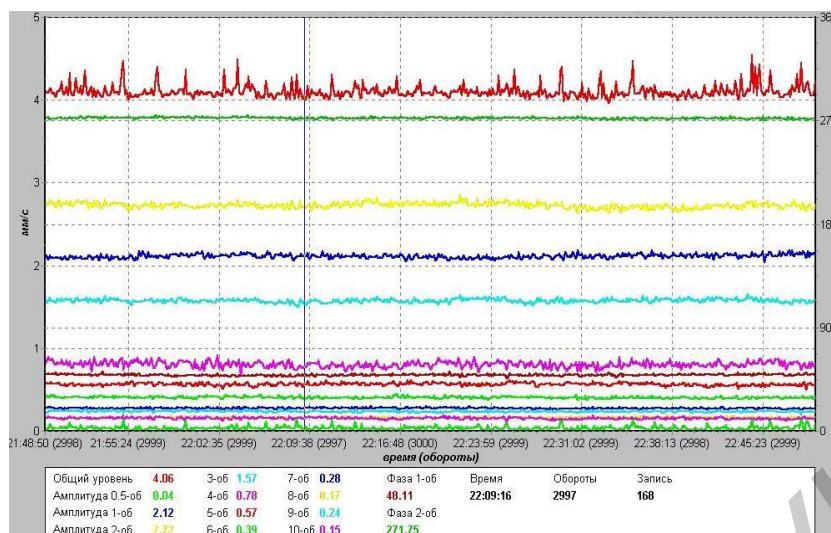
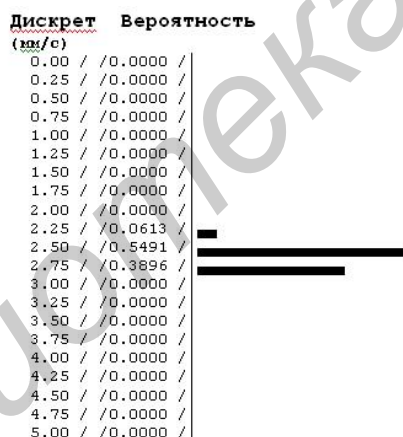


Рис. 2. Тренд СКЗ виброскорости (горизонталь), оборотных составляющих, фазы первой и второй оборотных составляющих для подшипниковой опоры возбудителя турбоагрегата

На рисунках 1-2 представлены примеры изменения во времени (примерно час), параметров вибрации, зафиксированных при контроле вибрации подшипниковых опор турбоагрегата. Даже визуальный анализ трендов параметров вибрации позволяет обнаружить их возможные изменения и, соответственно, изменение технического состояния контролируемого объекта.



Среднее значение СКЗ виброскорости за период наблюдения: 2.674
 СКЗ разброса значений виброскорости за период наблюдения: 0.1287
 Максимальное значение: 2.968
 Минимальное значение: 2.3992
 Диапазон изменения: 0.5689
 Количество анализируемых отсчетов 10800

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

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

Статистическая обработка данных, получаемых ИВК «Лукомль», может быть выполнена с помощью достаточно простого программного средства. На рисунке 3 показан пример такой обработки, в результате которой получена гистограмма распределения исследуемого пара-

метра 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. В качестве примера для сравнения на рисунке 4 приведены изменения СКЗ виброскорости подшипниковых опор турбоагрегата при возникновении дефекта, а на рисунке 5 результаты статистической обработки одного из этих параметров. Амплитудный диапазон для построения гистограммы выбирается с учетом реального вибрационного состояния контролируемого объекта и нормативных требований по уровню вибрации.

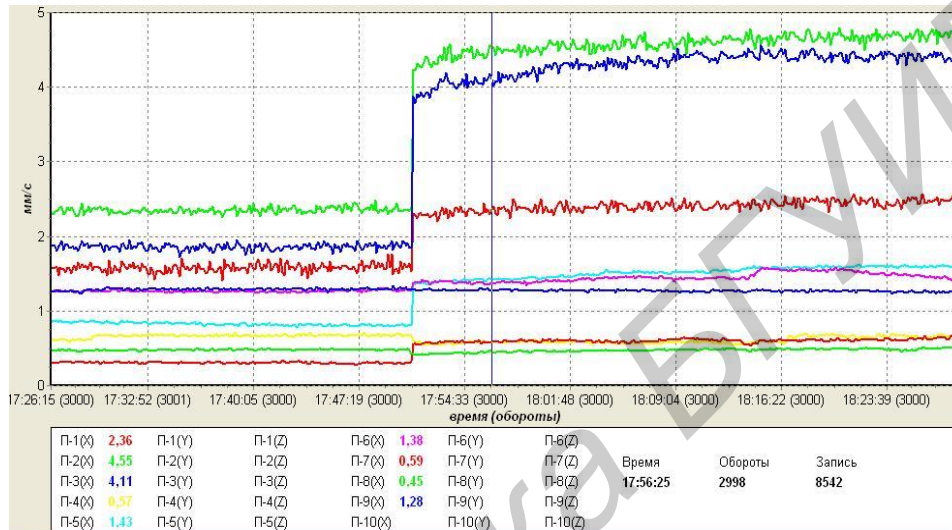


Рис. 4. Тренд СКЗ виброскорости (горизонталь) подшипниковых опор турбоагрегата при возникновении дефекта

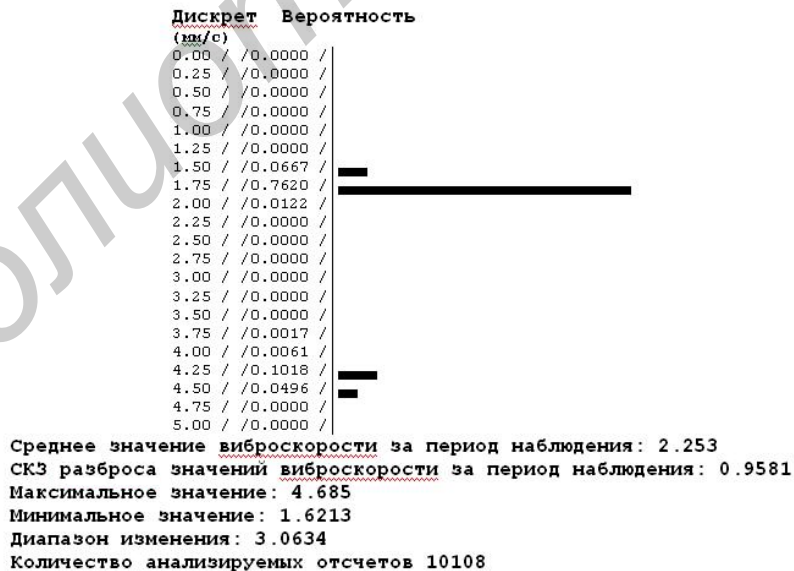


Рис. 5. Результаты обработки суточного временного тренда СКЗ виброскорости подшипника турбоагрегата при возникновении дефекта

Анализируя полученные результаты можно сделать ряд выводов.
 При нормальном функционировании механизма:

– параметр «СКЗ разброса значений виброскорости за период наблюдения» имеет значительно меньшее значение по сравнению со «Средним значением СКЗ виброскорости за период наблюдения»;

– «Среднее значение СКЗ виброскорости за период наблюдения» попадает в квантиль максимальной вероятности гистограммы распределения;

– «Диапазон изменения» меньше, чем «Среднее значением СКЗ виброскорости за период наблюдения» (хотя при наличии случайных выбросов, помех или кратковременных значительных изменениях режима это условие может не выполняться);

– форма гистограммы распределения по уровню для анализируемого параметра представляет собой несколько, расположенных по соседству друг с другом, значащих квантилей.

При возможном дефекте или неисправности механизма:

– параметр «СКЗ разброса значений виброскорости за период наблюдения» сравним по величине со «Средним значением СКЗ виброскорости за период наблюдения»;

– «Среднее значение СКЗ виброскорости за период наблюдения» во многих случаях не попадает в квантиль максимальной вероятности гистограммы распределения;

– «Диапазон изменения» сравним или даже превышает «Среднее значением СКЗ виброскорости за период наблюдения»;

– форма гистограммы распределения по уровню для анализируемого параметра может иметь произвольный вид, причем значащие квантили могут располагаться с разрывом по амплитудной шкале.

Таким образом, предварительно проведенная статистическая обработка временных трендов параметров вибрации может значительно облегчить работу технического специалиста.

Непрерывные вибрационные сигналы несут еще больший объем информации. Длительные наблюдения за контролируемыми объектами позволили обнаружить кратковременные вибрационные всплески-возмущения [15]. Исследование таких возмущений представляет собой достаточно большую проблему, так как они носят случайный характер, а временные интервалы между ними могут составлять часы и даже сутки.

Необходимость обнаружения редких кратковременных изменений структуры вибрационных сигналов и последующее выявление причинно-следственных связей между их появлением и развитием дефектов, требует создания систем, способных накапливать и обрабатывать непрерывные вибрационные сигналы, отражающие вибрационное состояние объекта, на протяжении длительных временных интервалов. Такие системы могут быть построены по принципу распределенного сбора и централизованной обработки [16]. При этом подходе функции непрерывного ввода и регистрации на смарт-карте вибросигналов выполняют автономные, энергонезависимые устройства [17], а их обработка осуществляется на производительных вычислительных машинах, в том числе с неоднородными и распределенными ресурсами.

Заключение. В результате сбора данных от вибродатчиков, установленных на множестве однотипных устройств, в течение длительного периода получается большой объем данных для анализа. Тщательно проведенная обработка этих данных создает предпосылки для выявления технических проблем на ранней стадии и их оперативного разрешения.

Литература

[1]. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга 2. Вибродиагностика /Ф.Я. Балицкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.

[2]. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – Москва, 1996. – 276 с.

[3]. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 169 с.

- [4]. Bently, D.E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics/ D.E. Bently, C.N. Hatch, B. Grisom. – Canada.: Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 pp.
- [5]. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. М.: Машиностроение, 1999. –344 с.
- [6]. ГОСТ ИСО 10816–1–97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. – Введ. 1999–07–01. – Минск. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: ИПК Изд-во стандартов, 1998. Стандартиформ, 2007. – 18 с.
- [7]. Бранцевич, П.Ю. Организация и опыт применения систем вибрационного мониторинга и защиты / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. научн. тр. / Под ред. Н.П. Мигуна – Мн.: Институт прикладной физики НАН Беларуси, 2013. – с. 67-74.
- [8]. Бранцевич, П.Ю. ИВК «Лукомль -2001» для вибрационного контроля / П.Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. –2008. – № 12 (69), –с. 19–21.
- [9]. 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. Стандартиформ, 2011.– 12 с
- [10]. 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, –pp. 612-619.
- [11]. 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.
- [12]. Бранцевич, П.Ю. Компьютерный вибрационный мониторинг механизмов и турбоагрегатов/ П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев // Доклады БГУИР. – 2015. – № 7 (93). – с. 5-10.
- [13]. Фрэнкс, Б. Укрошение больших данных: как извлекать знания из массивов информации с помощью глубокой аналитики / Б. Фрэнкс; пер. с англ. А. Баранова. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 352 с.
- [14]. Бранцевич, П.Ю. Компьютерные вибродиагностические системы / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев, В.Э. Базаревский // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР: материалы конф. – Минск : БГУИР, 2014. – Ч. 1, – с. 430–431 .
- [15]. 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.
- [16]. 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. Сборник материалов 12-ой научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. Под ред. В.Н. Азарова. М.: МГИЭМ, 2000. - с. 170-171.
- [17]. Базылев, Е. Н. Особенности применения встроенных систем в системах вибрационного контроля, мониторинга, диагностики / Е. Н. Базылев, П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии = International Congress on Computer Science: Information Systems and Technologies [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч. конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24-27 окт. 2016 г. - Минск : БГУ, 2016. - С. 759-762.