

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ, МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ

**П. Ю. Бранцевич, С. Ф. Костюк,  
Е. Н. Базылев, В. Э. Базаревский**

---

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

Рассмотрены вопросы организации систем вибрационного контроля, мониторинга, диагностики, построенных по принципу компьютерных приборов. Представлены разработки лаборатории вибродиагностических систем БГУИР, решающие данные задачи. Предложена организация системы распределенного сбора и централизованной или распределенной обработки вибрационных данных на базе интернет-ресурса.

*Ключевые слова:* вибрация, мониторинг, технология, компьютер, интернет.

Снизить затраты на эксплуатацию производственного оборудования можно путем внедрения современных систем технического обслуживания, которые базируются на использовании технологий мониторинга параметров технических объектов, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов. Это позволяет предотвращать аварийные ситуации, своевременно заменять исчерпавшее свой ресурс оборудование и лишь при необходимости проводить его профилактическое обслуживание, ремонт или наладку.

Считается, что наиболее изнашиваемым является оборудование с вращательным движением (турбины, генераторы, двигатели, редукторы, насосы, компрессоры, вентиляторы и т. д.).

Состояние производственного оборудования характеризуется многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те параметры процессов, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют больших затрат на их измерение. В этом плане для механизмов с вращательным движением такими являются параметры вибрации.

Для слежения за изменением состояния технических объектов применяются системы вибромониторинга. В зависимости от важности выполняемых оборудованием функций, его стоимости и величины возможного ущерба при внезапной аварии, реализуют периодический или непрерывный стационарный мониторинг параметров вибрации.

При периодическом мониторинге через некоторые промежутки времени (раз в сутки, неделю или месяц) с помощью переносных приборов измеряются параметры вибрации подшипниковых опор, а результаты заносятся в специальный журнал или базу данных. Важно, чтобы измерения проводились в сопоставимых условиях при одинаковых или близких режимах работы контролируемого оборудования и частоте вращения ротора. В качестве параметров вибрации чаще всего фиксируют среднее квадратическое значение (СКЗ) в нормированной частотной полосе (для механизмов с частотой вращения ротора более 600 оборотов в минуту это 1÷1000 Гц), а также, при наличии возможности, определяются амплитуда оборотной составляющей виб-

рации (составляющая с частотой, равной частоте вращения ротора), интенсивность низкочастотной вибрации, амплитудный спектр. В результате обработки данных отслеживается выход параметров за нормированные допусковые зоны, строятся тренды изменения параметров вибрации для отдельных механизмов. Далее принимаются решения о проведении расширенных обследований вибрационного состояния подозрительных механизмов, планируются мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту. Периодический мониторинг позволяет отследить динамику изменения технического состояния и получить данные для прогнозных оценок, но не дает возможности оперативно отреагировать на внезапные аварийно-опасные ситуации путем отключения оборудования или изменения режимов его работы.

Одним из подходов к решению задачи периодического мониторинга является создание системы распределенного сбора информации с помощью малогабаритных автономных переносных приборов, для эксплуатации которых не требуется высокая квалификация персонала, и централизованных компьютерных мест ее накопления, систематизации и обработки, предназначенных для специалистов-аналитиков. В качестве базового узла подобной системы разработано устройство сбора виброметрических данных (УСВД), основным назначением которого является сбор и хранение временных реализаций вибросигнала, возбуждаемого на корпусных деталях исследуемых механизмов. УСВД представляет собой энергонезависимый блок с работой во включенном состоянии до 24 часов. Запись реализаций вибросигнала в память может осуществляться: по требованию пользователя (нажатие кнопки); через заданные промежутки времени после включения; через заданные промежутки времени, начиная с установленного времени (осуществлена временная привязка файлов). В качестве первичных к УСВД может подключаться до трех пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей, работающих в частотном диапазоне 5-10000 Гц. Хранение записанных реализаций осуществляется и при отключенном питании. Настройка режимов работы УСВД осуществляется по интерфейсу RS-232 от компьютера, собранные реализации вибросигнала по этому же интерфейсу передаются в компьютер для вторичной обработки и углубленного анализа [1].

Системы непрерывного стационарного мониторинга внедряют на сложных дорогостоящих агрегатах (турбогенераторах, газоперекачивающих агрегатах и т. п.). Это многоканальная, в большинстве случаев компьютерная система, определяющая и регистрирующая на каком-то носителе информации значения параметров вибрации через небольшие (не более нескольких секунд) промежутки времени, а также осуществляющая допусковой контроль, выполняющая функции сигнализации и защитного отключения. Примером такой системы является измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) серии «Лукомль», разработанный и производимый научно-исследовательской лабораторией вибродиагностических систем БГУИР [2].

Структурно ИВК представляет собой универсальную ПЭВМ с типизированным модулем АЦП, подключаемым к ее стандартному интерфейсу (ISA, PCI, USB), блока аналоговой обработки сигналов, к которому подключаются первичные виброизмерительные каналы и блока управления сигнализацией и защитным отключением. По сути это перепрограммируемый компьютерный измерительный прибор, решающий специальные задачи. Его основными функциями являются:

- определение в режиме реального времени: интенсивности вибрации в стандартизованных или задаваемых частотных диапазонах, частоты вращения вала, значений амплитудных и фазовых параметров, по крайней мере, до десяти спектральных составляющих вибрации, кратных частоте вращения (порядковый анализ), пик-фактора исходного сигнала;

- сравнение реально полученных значений с контрольными (величина которых может изменяться от точки к точке и с течением времени) и выработка по определенным алгоритмам сигналов, выдаваемых на отображающие и исполнительные устройства щитов управления;

- реализация алгоритмов защиты технических объектов по вибрационным параметрам не только по стандартизованным критериям, но и с учетом расширенного числа показателей, индивидуальных особенностей конкретного объекта и обобщенной оценки ситуации на объекте, полученной на основе измерений в нескольких точках контроля. При анализе вибрационного состояния защищаемого объекта учитываются факторы низкочастотной вибрации, высокочастотной вибрации, оборотной составляющей вибрации, изменение вектора оборотной составляющей. Значения конкретных уровней срабатывания защиты устанавливаются индивидуально для конкретного агрегата.

На основе анализа вибрационного состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах, в различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени могут быть обоснованы и сформулированы диагностические признаки для локализации мест и причин повышения вибрации. Это создает условия для построения автоматизированных систем оценки технического состояния и диагностики, значительно облегчающих работу инженерно-технического персонала.

Однако решение задач вибрационной диагностики до настоящего времени остается весьма проблематичным, так как формулирование вывода о техническом состоянии объекта на основе количественных значений вибрационных параметров во многих случаях неоднозначно. Для более достоверных заключений представляется целесообразным анализ динамики изменения непрерывных вибрационных сигналов, отражающих техническое состояние объекта на длительном временном интервале (минуты, часы и даже сутки). Для регистрации таких вибрационных сигналов используется измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» на базе мобильного компьютера, модуля АЦП с USB интерфейсом, виброизмерительных каналов с первичными пьезоэлектрическими преобразователями и проблемно-ориентированного программного обеспечения [3, 4].

Расширение пропускной способности каналов передачи данных и развитие компьютерных интернет-технологий позволяют создавать системы поддержки принятия решений по оценке технического состояния сложных механизмов роторного типа на основе распределенного сбора больших объемов виброметрических данных и программных средств как традиционного, так и браузерного исполнения, доступ к которым производится через интернет-ресурс.

Помимо алгоритмических и аналитических задач, специфичных только для сферы вибродиагностики и цифровой обработки сигналов, такая система должна соответствовать ряду общесистемных требований [5]:

- независимость от какой-либо аппаратно-программной архитектуры;
- поддержка распределенной обработки;
- работа в рамках протоколов Http и Https в сети интернет;
- наличие ряда мобильных клиентов, а также возможность сравнительно легкого добавления новых мобильных клиентов;
- система должна содержать алгоритмическое ядро, способное к переносу на каждый распределенный компонент системы, вне зависимости от его программно-аппаратной реализации, и при этом обеспечивать согласованность в работе со всеми остальными компонентами системы;
- горизонтальная масштабируемость;

- предоставление своего функционала сторонним пользователям как услуги;
- наличие аналитического функционала для определения степени собственного использования, наиболее и наименее популярных компонентов для корректировки и развития функциональных возможностей системы в процессе поддержки и для планирования новых версий системы;
- наличие функционала аудита и протоколирования наиболее существенных действий пользователя для отслеживания истории изменения состояния исследуемых объектов и результатов их исследования;
- запрет доступа пользователей одних организаций к данным пользователей других организаций, а также поддержка ряда мер, исключающих доступ к секретным (или скрытым) сведениям чужих пользователей;
- мобильные компоненты системы, компоненты стационарных компьютеров и ноутбуков должны содержать функционал интеграции собственного программного обеспечения с аппаратно-программными комплексами сбора и оцифровки вибрационных сигналов и данных.

Разработан прототип подобной системы. Для регистрации длительных реализаций вибрационных сигналов применяется комплекс «Тембр-М» [6]. Обработка длинных реализаций вибрационных осуществляется программным средством на языке Java, которое может выполняться в браузерах, что позволяет использовать для обработки мобильные платформы и выполнять сложные цифровые преобразования и анализ данных в любом месте, где имеется мобильная связь.

Программа выполняет следующие основные действия по обработке вибросигналов [7–9]:

- удаление постоянной составляющей и низкочастотного дрейфа из исходного сигнала;
- интегрирование сигнала и переход от представления сигнала в единицах виброускорения к представлению в единицах виброскорости;
- двойное интегрирование сигнала и переход от представления сигнала в единицах виброускорения к представлению в единицах виброперемещения;
- вычисление амплитудного спектра вибросигнала;
- вычисление полосового амплитудного спектра сигнала, когда частотный диапазон исследуемого вибросигнала разбивается на полосы и определяется интенсивность вибрации в каждой из полос;
- цифровая низкочастотная и высокочастотная фильтрация методом частотных выборок с возможностью задания произвольных частот среза фильтров;
- вейвлет анализ вибросигнала с возможностью выбора типа вейвлета (из набора гауссовых вейвлетов 1–4 порядков и вейвлета Морле) и задания его центральной частоты;
- анализ распределения сигнала по амплитудным уровням, с возможностью задания диапазона изменения сигнала и количества амплитудных квантилей;
- разложение сигнала на периодическую и шумоподобную составляющие, с возможностью задания значений частот гармоник, которые входят в периодическую составляющую;
- выделение огибающей сигнала (преобразование Гильберта).

Предусмотрена возможность формирования последовательностей операций по преобразованию данных.

Отображение графиков временных реализаций и спектров производится в скользящем режиме, когда временное окно наблюдения накладывается на определенный

отрезок длинной реализации вибросигнала и определяются параметры сигнала для этого временного окна.

Создание интернет-приложений, ориентированных на проведение исследований различных цифровых вибрационных сигналов и выполняющихся как на настольных, так и на мобильных платформах, позволит создавать системы распределенного сбора и как централизованной, так и распределенной обработки полученных данных.

## Библиографические ссылки

1. *Бранцевич П. Ю.* Измерительно-вычислительная система распределенного сбора и централизованной обработки виброметрических данных / под ред. В. Н. Азарова // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления. Сборник материалов 12-ой научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. М. : МГИЭМ, 2000. С. 170–171.
2. *Бранцевич П. Ю.* ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контролю // Энергетика и ТЭК. 2008. № 12 (69). С. 19–21.
3. *Бранцевич П. Ю., Жук М. М., Костюк С. Ф., Ероховец И. Е., Носко Д. В.* Измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» для исследования остаточной устойчивости и жесткости строительных конструкций // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сборник тезисов докладов 4 Международной научно-практической конференции. В 3 т. Т.1. Минск : НИ-ИПБиЧС, 2007. С. 183–186.
4. *Бранцевич П. Ю., Бобрук Е. В.* Анализ вибрационных сигналов, полученных при исследовании влияния механизмов с вращательным движением на колебания конструкций // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2012. № 1 (31). С. 5–8.
5. *Базаревский В. Э.* Архитектура мобильного веб-приложения для обработки сигнальных данных // Доклады БГУИР. 2013. № 1 (71). С. 51–57.
6. *Бранцевич П. Ю.* Методика исследования вибросигналов при анализе причин изменения вибрационного состояния энергоагрегата // Topical areas of fundamental and applied research. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2013. V. 1. P. 111–116.
7. *Бранцевич П. Ю.* Способ удаления низкочастотного дрейфа при обработке экспериментальных данных // Актуальные проблемы информатики: Сб. трудов 6 Международной научн. конф. Минск: БГУ, 1998. С. 336–343.
8. *Бранцевич П. Ю., Гузов В. А.* Применение усреднения во временной области и вейвлет-анализа для исследования вибрационных сигналов // Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электрических станций: Сб. докл. М. : ОАО «ВТИ», 2007. С. 58–66.
9. *Бранцевич П. Ю., Базаревский В. Э., Костюк С. Ф.* Применение разложения вибрационных сигналов на периодическую и шумоподобную составляющие при исследовании технического состояния механизмов с вращательным движением // Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теорет. и прикладной механике. Минск : Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси, 2011. Т. II. С. 27–31.