

## СИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ В МЕХАНООБРАБОТКЕ

С.Н. Шиляев (ЗАО «Руднев-Шиляев»),

И.В. Третьяков (ООО «Экстенсив»)

*Сформулированы основные цели и задачи систем вибродиагностики на дискретных машиностроительных и металлообрабатывающих предприятиях. Выявлены проблемы, характерные для отечественных предприятий, связанные с внедрением систем вибродиагностики. Представлен аппаратно-программный комплекс вибродиагностики РШ4010.*

*Ключевые слова: вибродиагностика, аппаратно-программный комплекс, математическое моделирование, аналитика.*

Вибродиагностика — направление анализа данных, основанное на обработке механических колебаний, генерируемых при работе оборудования либо возникающих при отражении специально созданных сигналов. Принцип работы системы вибродиагностики основан на сборе данных (сигналов) с датчиков (акселерометров), закрепленных на станке, в приемном блоке (коллектор-виброанализатор), где осуществляется первичная обработка информации. На основе специальных алгоритмов формируются результирующие параметры, которые отображаются на АРМах персонала и/или передаются информационным системам для накопления и дальнейшей обработки [1, 2].

В дискретном производстве вибродатчики могут быть предустановлены производителем оборудования, установлены на штатные места или на усмотрение специалиста вблизи самых нагруженных (самых изнашиваемых) подвижных частей станка. Дополнительное оборудование подключается автономно или через устройство ЧПУ станка. Второй способ предпочтительнее, но влияет на гарантийное обслуживание и должен быть согласован с обслуживающей организацией [3, 4].

Вибродиагностика в механообработке применяется для:

- контроля заготовки, если материал и форма позволяют определить отклонения или дефекты;
- диагностики настроек станка. Записанные гармоники вибраций при первоначальной настройке сравниваются с текущими. Наличие отклонений указывает на разрегулировку станка;
- диагностики холостого хода. Позволяет судить об износе или повреждении движущихся частей или подшипников, проверить правильность установки станка;
- диагностики обработки изделия. Позволяет выявить критические режимы, повреждения инструмента, коллизии обработки (существенные удары, врезания);
- диагностики готового изделия;
- прогнозирования срока службы движущихся узлов механизмов.

В некоторых случаях низкий уровень вибраций указывает на то, что обработка может быть ускорена. Однако "разгонять" станки автоматически — недопустимо, и если это целесообразно, то увеличивать скорость обработки нужно под контролем техноло-

га на этапе разработки и компьютерной симуляции управляющей программы.

Контроллеры вибродиагностики формируют более двух десятков значимых сигналов, но гораздо больше информации можно получить, если данные о вибрациях передаются в системы мониторинга, где они накапливаются, и проводится анализ изменений контролируемых параметров во времени и корреляция с данными о скоростных и температурных режимах протекания ТП. Например, анализируя тренды, можно экстраполировать их до достижения критических значений и приблизительно оценить остаточный ресурс узла оборудования.

Вибродиагностика в механообработке практически точно определяет отклонения, но отсутствие выявленных ошибок отнюдь не свидетельствует о том, что все хорошо.

На сегодняшний день наметился серьезный рост интереса к анализу вибраций со стороны передовых машиностроительных предприятий. На рынке присутствуют автономные системы анализа вибраций и системы мониторинга от различных отечественных и зарубежных производителей, включающие модуль анализа вибраций, которые готовы представить свои решения заказчикам.

К таким производителям относится компания «Руднев-Шиляев» (Москва), которая на основе многолетнего опыта работы создала авторскую методику проведения контроля и глубокой вибродиагностики технически сложных объектов (ТСО), реализованную в аппаратно-программном комплексе РШ4010. Последний успешно работает с ТСО отечественного и зарубежного производства: получает исходные данные, необходимые для проведения контроля и диагностики с оперативным поиском, точной локализацией, оценкой величины и прогнозированием развития дефектов по диагностическим моделям типовых кинематических узлов ТСО.

Методика включает этап создания информационной базы программных моделей диагностических признаков дефектов кинематических узлов ТСО. Модели, хранящиеся в информационной базе, используются при определении технического состояния элементов ТСО по вибрационным данным, а также для оперативного поиска, точной локализации, оценки фактического состояния и прогнозирования развития износа кинематических узлов ТСО. Реализация методики обеспечивает повышение эксплуатацион-

ной безопасности, качества и эффективности планово-предупредительных ремонтов ТСО.

Программно-аппаратный комплекс РШ4010 от ЗАО "Руднев - Шиляев" интегрируется в систему обработки машинных данных ДРА от компании Экстенсив (г. Екатеринбург).

Функции, выполняемые системой ДРА в составе комплекса РШ4010:

1) выявление дефектов деталей сложных кинематических узлов, входящих в состав ТСО:

- износ деталей сборочной единицы (ДСЕ) подшипников качения и скольжения (внутреннего и внешнего колец, тел качения, сепаратора);
- сколы, раковины на беговых дорожках колец подшипников и тел качения;
- дефекты сборки (перекосы ДСЕ) кинематических узлов, шестеренных и ременных передач;
- ослабление креплений механизмов узлов ТСО;

2) прогнозирование срока эксплуатации ДСЕ (обычно прогноз очень точен по максимальному сроку, то есть может устройство сломаться раньше, но указанный срок точно не переживет).

Система работает в режимах «Информационная база», «Аналитика», «Отчеты», «Сигналы».

В режиме «Информационная база» осуществляется:

а) ведение реестра ТСО (создание, редактирование и удаление) указывается наименование ТСО, заводской номер и прочие общие параметры;

б) создание, редактирование и удаление кинематического узла. Для кинематического узла определяется наименование, вводится информация о деталях, входящих в его состав, и параметры деталей. Далее происходит автоматический расчет дефектных частот;

в) загрузка кинематической схемы в кинематический узел;

г) создание, редактирование и удаление ДСЕ, из которых состоит кинематический узел, с присущими ДСЕ параметрами, частотой входного вала или резонансной частотой. Функция работает в двух режимах: графическом, прямо на кинематической схеме и в закладке «Компоненты в составе кинематического узла» с помощью соответствующих кнопок. После заполнения входной информации происходит автоматический расчет дефектных частот ДСЕ;

д) создание, редактирование и удаление точек контроля (мест установки датчиков). Также возможны два режима — на кинематической схеме кинематического узла и в режиме диалога;

е) выгрузка дефектных частот в файл, загрузка ответного файла, полученного от анализатора, и отображение результатов исследования.

В режиме «Аналитика» выявляется и оценивается износ деталей подшипников, зубчатых и ременных передач. Реализуются следующие функции:

- загрузка временных реализаций сигналов из БД (данные от датчиков, установленных на ТСО);

- загрузка дефектных частот ДСЕ ТСО (из БД);
- подготовка данных для анализа (данные представляют собой временные реализации вибросигналов). Применяются необходимые фильтры, технологии сглаживания, убираются посторонние шумы, которые могут повлиять на точность анализа;

- получение спектра путем обработки временных реализаций вибросигналов с помощью алгоритмов «Спектр виброскорости», «Спектр виброускорения» и «Спектр огибающей»;

- поиск в спектре дефектных частот, полученных из информационной базы.

- поиск дефектных частот и вычисление их энергии, а также энергии частот всего спектра

- расчет отношений энергии дефектных частот к энергии частот всего спектра, выражение этих отношений в процентах;

- сравнение вибрационных данных с динамическими и температурными. Выявление взаимосвязей, расчет прогнозирования критических показателей;

- сохранение результатов анализа в информационную базу;

Режим «Отчет» включает детальное отображение технического состояния ТСО в любой момент времени в период контроля, в режиме реального времени и в ретроспективе, в форматах таблиц, диаграмм и графиков, пригодных для интерпретации персоналом и другими информационными системами.

Режим «Сигналы» описывает отклонения, способы реакции системы на отклонения и детектируемые ситуации (удар, врезание, рост вибраций, пиковые отклонения, достижение пороговых значений, резонансы и т.п.) и автоматически информирует персонал в случае их возникновения.

#### Проблемы, связанные с внедрением и использованием систем вибродиагностики

Большинство систем вибродиагностики, представленные на отечественном рынке, не адаптированы к конкретному типу оборудования. А именно эталонная модель конкретного станка позволяет точно диагностировать неисправности. Для их адаптации необходимо проводить дополнительные исследования, модернизировать программное обеспечение, иметь в штате опытного инженера по диагностике.

Службы предприятий должны формировать базы диагностических карт оборудования в рамках имеющегося парка.

Поставщики оборудования должны сопровождать станок вибродиаграммой и термокартой, но в реальности такое встречается нечасто. Именно сравнение изменений в картине вибраций со временем, сопоставление вибрационных данных с температурными и динамическими (скорость вращения узлов, измеримые нагрузки, тип обрабатываемого материала и т.д.) позволяет получить точную картину состояния станка и предсказать динамику изменений.

На отечественных крупных предприятиях наблюдается слабое взаимодействие, а иногда и противостояние со стороны службы главного механика, главного технолога и производства при внедрении новых информационных систем в силу различия целевых показателей и ресурсов. При этом только согласованная работа производственных служб позволяют воспользоваться современными технологиями в полной мере и получить качественный скачек уровня ТОиР.

#### Список литературы

1. *Вибрации в технике*. Том 5. М. Машиностроение, 1981 г., стр. 380–418.
2. *Русов В.А.* Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. Пермь, ПФВ «Вибро-Центр». 2012.
3. *Харкевич А.А.* Спектры и анализ. Гос. издат. физ-мат литературы. М. 1962.
4. *Дж. Бендат, А. Пирсол.* Прикладной анализ случайных данных. М. Изд. Мир. 1989.

*Шляев Сергей Николаевич* – генеральный директор ЗАО «Руднев-Шляев»,  
*Третьяков Игорь Вячеславович* – директор по развитию ООО «Экстенсив».  
 Контактный телефон +7 (912) 220-8-220.  
 E-mail: Live@x-tensive.ru

## СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

**Е.А. Кудрявцев, Л.А. Лось, В.И. Пронякин (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

*Рассмотрены методы технической диагностики насосного оборудования трубопроводного транспорта. Представлен отраслевой подход на базе вибродиагностических методов. Приводятся международные стандарты, переведенные для применения в отечественной промышленности, отражающие традиционные подходы к диагностике машин и механизмов. Представлен фазохронометрический метод диагностики циклических машин и механизмов.*

*Ключевые слова:* техническая диагностика, циклические механизмы, насосное оборудование, вибродиагностика, диагностические признаки, фазохронометрический метод.

На современном этапе развития экономики трубопроводный транспорт, являясь важнейшей составной частью транспортной системы России, играет значительную роль в обеспечении отечественной экономики топливно-энергетическими ресурсами. Экономическая эффективность и надежность доставки нефти из районов добычи в районы переработки являются основными критериями оценки функционирования трубопроводного транспорта. Отказы на магистральных нефтепроводах (МН) приводят к полному или частичному прекращению перекачки, нарушают нормальную работу промыслов, нефтеперерабатывающих заводов и нефтебаз. Аварии на МН, сопровождающиеся разливами нефти, наносят значительный ущерб окружающей среде, способны привести к взрывам и пожарам с катастрофическими последствиями. По этой причине реализация надежной безаварийной работы МН является одной из основных задач при эксплуатации.

Для надежной и безаварийной работы насосных агрегатов (НА) разработан ряд методов диагностики их функционирования, основными из которых являются вибродиагностика и параметрическая диагностика.

#### Традиционные методы диагностики НА

Существующие подходы к решению задач технической диагностики методически представлены в международных стандартах, переведенных для применения в отечественной промышленности в виде ГОСТ:

— ГОСТ Р ИСО 13379-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Руководство по интерпретации данных и методам диагностирования;

— ГОСТ Р ИСО 17359-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство;

— ГОСТ 30848-2003. Диагностирование машин по рабочим характеристикам. Общие положения.

В этих документах изложены методы и процедуры сбора и интерпретации полученной информации в рамках существующего понимания задач диагностики машин и механизмов. Подходы к диагностике насосного оборудования соответствуют данным стандартам, но не обеспечивают решение задачи оценки текущего технического состояния.

Для обнаружения дефектов предлагается выявление причинно-следственных связей, вызвавших неисправности. Для обработки информации и принятия решений, в том числе для диагностики насосного оборудования, применяются в основном статистические методы, спектральный анализ, теория надежности, нечетких множеств, нечеткой логики, случайных процессов и др. Например, для определения межремонтных интервалов применяется теория надежности на базе статистики отказов при эксплуатации оборудования и аналогичных машин. Данный подход ведет к необоснованному сокращению межремонтных интервалов и отсутствию надежной аварийной защиты. Большое значение уделяется видам анализа, сопровождаемым экспертной оценкой. В стандартах указывается, что статистическое определение вероят-