

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОКОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Матвеев Е.Л., Черкасова М.С., Матвеев А.Л., Лесных А.В., Рябинина В.Н.
(АО «НИКИЭТ», Москва, Россия)

Введение

Работа сложных машин и механизмов, от эффективности использования которых зависит безопасность производства и прибыль предприятия, непрерывно связана с эффектом вибраций, интенсивность и характер которых проявляются разным образом в зависимости от технического состояния вращающегося (роторного) оборудования.

Мониторинг технического состояния роторного оборудования обеспечивает непрерывное наблюдение за объектом контроля с целью обнаружения начала появления неисправности на основе изменения характера колебательного процесса объекта контроля и предупреждения обслуживающего персонала о возникновении неисправности.

Отказ роторного оборудования при усталостном разрушении происходит не внезапно и не мгновенно. Установлено, что динамика трендов вибропараметров характеризует динамику старения роторного оборудования, при этом динамика скорости изменения тренда вибропараметра совпадает с динамикой скорости износа. Сначала появляются некоторые признаки приближения этого процесса – изменяется характер колебательного процесса агрегата, растёт вибрация, возникающая из-за ряда свойств, которые являются естественным следствием изготовления элементов оборудования и характеристик материалов. На фоне устойчивого процесса колебаний появляются некоторые признаки разрушения – выбросы вибрации. Наблюдение, контроль и оценка последовательности и интенсивности этих признаков является важной информацией не только о приближении процесса разрушения агрегата, но и даёт информацию о времени работы, которое ещё имеется у агрегата и обслуживающего персонала для принятия решения по исключению аварийного выхода из строя агрегата и его полного разрушения. Увеличение вибрации выше определенного уровня может привести к разрушению элементов оборудования или характеризовать разрушение.

Одним из наиболее часто используемых методов технической диагностики является анализ параметров вибрации. Преимущества вибродиагностики заключаются в том, что применяемые методы позволяют:

- находить скрытые дефекты;
- не требуют, как правило, сборки-разборки оборудования и значительного времени диагностирования;
- обнаруживать неисправности на этапе их зарождения;
- снижать риск возникновения аварийной ситуации при эксплуатации оборудования.

Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии используются различные стратегии технического обслуживания и ремонта. В настоящее время наиболее популярной стратегией обслуживания оборудования является концепция управления техническим состоянием, суть которой в оценке текущего состояния и прогнозировании его изменения, которая регламентируется стандартом ISO-13374 (соответствует ГОСТ Р ИСО 13374-2015) и базируется на системах автоматизированного сбора и анализа диагностической информации о техническом состоянии оборудования.

Таким образом, проводя автоматизированный контроль вибрации, можно без вывода оборудования из рабочего режима получить достаточно полную и достоверную информацию о его текущем состоянии и зарождающихся в нем неисправностях. Проводя такой анализ, можно, исходя из динамики изменений вибрации во времени, спрогнозировать остаточный рабочий ресурс задолго до выхода оборудования из строя [1].

Примером такой автоматизированной системы, осуществляющей контроль вибрационного состояния роторного оборудования на объектах использования атомной энергии, включая АЭС с РУ ВВЭР, является автоматизированная система виброконтроля и диагностики (АСВД), разработанная АО «НИКИЭТ» и предназначенная для повышения уровня надёжности, безопасности и удобства эксплуатации контролируемого оборудования.

1. Назначение системы и объект контроля

Система АСВД предназначена для автоматизированного контроля вибрационного состояния и механических величин контролируемого оборудования, а также осуществляет следующие функции [2]:

- диагностирование состояния контролируемого оборудования по результатам измерений с выводом диагностической информации на автоматизированное рабочее место для оценки и анализа оператором/специалистом диагностического подразделения АЭС;
- накопление (архивирование) информации по сигнализации и результатам измерения, отображения ее на входящих в состав системы средствах визуализации;
- передачу информации в систему верхнего блочного уровня и программно-техническим комплексам системы контроля и управления нормальной эксплуатации.

Применительно к энергоблокам АЭС с РУ ВВЭР-1200, система АСВД осуществляет диагностирование и автоматизированный контроль вибрационного состояния и механических величин следующего оборудования:

- питательные электронасосные агрегаты;
- циркуляционных насосов подвода охлаждающей воды к теплообменному оборудованию;
- турбоагрегата с виброизолированным фундаментом;
- вспомогательного насосного и вентиляторного оборудования.

2. Состав и возможности программного обеспечения

Программное обеспечение (ПО) является продуктом верхнего уровня автоматизированной системы виброконтроля и диагностики, построенным на веб-технологиях.

ПО состоит из трех основных модулей (рис. 1):

- *модуля взаимодействия с оборудованием и обмена данными*, который, получая сигналы с датчиков вибрации в формате .wav, обеспечивает связь между составными частями программного обеспечения и СУБД;
- *модуля диагностики и математической обработки данных*, реализованного на языке программирования R и отвечающего за преобразование, обработку и анализ вибрационных данных. Назначением данного модуля является исследование поведения сигнала в режиме осциллографа, оценка основных параметров вибросигнала и проведение анализа с целью выявления отклонений в характере вибрации при работе оборудования под нагрузкой [3];

– модуля организации взаимодействия оператора и ЭВМ, представляющего собой клиентскую сторону пользовательского интерфейса к программно-аппаратной части системы. Модуль позволяет визуализировать для дальнейшей интерпретации и анализа как исходные сигналы в режиме реального времени, так и результаты математической обработки данных в виде графиков (орбита, водопад, полярный график полного или сглаженного спектра, среднеквадратичное значение (СКЗ) и др.), таблиц, мнемосхем, отчетов по запросу оператора.



Рис. 1. Структурная схема программной части системы вибродиагностики

Модуль взаимодействия с оборудованием и обмена данными и модуль диагностики и математической обработки данных не имеют графического интерфейса и служат внутренним функциям связи и обработки информации.

Модуль организации взаимодействия оператора и ЭВМ решает задачи предоставления информации как о состоянии оперативных параметров оборудования в реальном времени (рис. 2), так и визуализации для последующей интерпретации и анализа выборочных параметров в виде трендов или иных формах представления по запросу оператора [4].



Рис. 2. Отображение оперативной информации об объекте контроля в реальном времени

На видеокадрах отображения оперативных параметров состояния оборудования в реальном времени выводятся значения базовых параметров диагностики (прежде всего, СКЗ виброскорости) и информация о превышении уставок с соответствующей цветовой индикацией.

Помимо выявления предаварийных и аварийных уровней вибрации опор подшипников, в режиме реального времени выявляется и индицируется на видеокадре оперативной информации:

- скачок виброскорости опор подшипников, который представляет собой одновременное, внезапное и необратимое изменение СКЗ виброскорости;
- возрастание на сравнимых установившихся режимах работы виброскорости опор подшипников (в соответствии с ГОСТ 25364-97 [5]).

База данных АСВД хранит историю изменения следующих параметров, доступных как для формирования трендов за различные временные промежутки, так и для иных форм интерпретации и визуализации на их основании по запросу оператора:

- вибрация опор подшипников;
- виброперемещение валов;
- скорость вращения валов;
- осевые сдвиги валов;
- относительное расширение ротора;
- абсолютное расширение цилиндров;
- искривление вала;
- линейные перемещения механизмов;
- уклоны «стульев» цилиндров;
- эксплуатационные параметры (температура, давление, мощность, ток и напряжение, уровни заполнения емкостей и другие технологические параметры).

К дополнительным формам визуализации и интерпретации, реализованным в АСВД, относятся следующие формы представления данных (рис. 3):

- орбита движения вала;
- спектры;
- водопад;

- полярный график спектра;
- гармоники виброскорости и виброперемещения;
- и др.



Рис. 3. Формы визуализации данных

Заключение

В ходе создания программно-математического обеспечения АСВД были разработаны и экспериментально испытаны функциональные программные модули, позволяющие решать все основные задачи получения, хранения, обработки, визуализации, анализа и интерпретации исходных данных вибрации оборудования.

Таким образом, АСВД представляет собой полноценную автоматизированную систему, работающую в режиме реального времени, с возможностью обработки, анализа и визуализации вибросигналов в частотных и временных областях, позволяющую выявлять дефекты роторного оборудования на основании результатов виброконтроля.

Список литературы

1. Аркадов Г.В., Павленко В.И., Финкель Б.М. Системы диагностирования ВВЭР. – М.: Наука, 2019. – 319 с.
2. Аркадов Г.В., Павленко В.И., Слепов М.Т. Виброакустика в приложениях к реакторной установке ВВЭР-1200. – М.: Наука, 2018. – 496 с.
3. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования.
4. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибраций.
5. ГОСТ 25364-97. Агрегаты паротурбинные стационарные. Нормы вибрации опор валопроводов и общие требования к проведению измерений.