

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОКОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ (АСВД)

*Матвеев Евгений Леонидович, Черкасова Мария Сергеевна (cherkasova_ms@nikiet.ru),
Рябинина Виктория Николаевна*

АО «НИКИЭТ», Москва

Представлены результаты работ по разработке программно-математических средств автоматизированной системы виброконтроля и диагностики, предназначенной для обеспечения непрерывного мониторинга вибрации и диагностирования технического состояния контролируемого роторного оборудования. Реализованные функции позволяют обнаруживать зарождающиеся дефекты и информировать персонал, что дает возможность своевременно принимать меры по предотвращению их дальнейшего развития.

Ключевые слова: вибродиагностика, автоматизированная система виброконтроля, программное обеспечение, роторное оборудование, анализ Фурье.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE AUTOMATED VIBRATION MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEM (AVMDS)

*Matveev Yevgeny Leonidovich, Cherkasova Mariya Sergeyevna (cherkasova_ms@nikiet.ru),
Ryabinina Viktoriya Nikolayevna*

NIKIET JSC, Moscow

The paper presents the results of activities to develop software tools for the automated vibration monitoring and diagnostic system designed to support continuous monitoring of vibration and diagnose the technical state of the monitored rotor equipment. The implemented functions make it possible to detect incipient defects and inform personnel which allows taking timely measures to prevent their further growth.

Keywords: vibration diagnostics, automated vibration monitoring system, software, rotor equipment, Fourier analysis.

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, растет 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 являет-

ся важной информацией не только о приближении процесса разрушения агрегата, но и дает информацию о времени работы, которое еще 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 реакторной установкой (РУ) ВВЭР, является автоматизированная система виброконтроля и диагностики (АСВД), разработанная АО «НИКИЭТ» и предназначенная для повышения уровня надежности, безопасности и удобства эксплуатации контролируемого оборудования.

Назначение системы и объект контроля

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

– диагностирование состояния контролируемого оборудования по результатам измерений с выводом диагностической информации на автоматизированное рабочее место (АРМ) 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:

- питательных электронасосных агрегатов;
- циркуляционных насосов подвода охлаждающей воды к теплообменному оборудованию;
- турбоагрегата с виброизолированным фундаментом;
- вспомогательного насосного и вентиляторного оборудования.

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 ПО и базой данных;

– *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 форм представления по запросу оператора (рис. 3) [4].

На видеокдрах 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 видеокдрах 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 к иным формам 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).



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



Рис. 3. Формы визуализации данных

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

- орбита движения вала;
- спектры;
- водопад;
- полярный график спектра;
- гармоники виброскорости и виброперемещения;
- и др.

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 наращиваемую многоканальную систему с возможностью соединения в единую мониторинговую сеть, с наличием спектрально-временного анализа Фурье, работы в режиме реаль-

ного времени, широкого частотного диапазона, локализации событий методом временной локации и ведением истории измерений.

Список литературы

1. Аркадов Г. В., Павленко В. И., Финкель Б. М. Системы диагностирования ВВЭР. – М.: Наука, 2019. С. 319.
2. Аркадов Г. В., Павленко В. И., Слепов М. Т. Виброакустика в приложениях к реакторной установке ВВЭР-1200. М.: Наука, 2018. С. 496.
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.