

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-18

P10-95-18

В.Ф.Бобраков, А.Б.Тулаев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ ПОДВИЖНОГО
ОТРАЖАТЕЛЯ РЕАКТОРА ИБР-2

1995

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных узлов реактора ИБР-2 является модулятор реактивности, т.н. подвижный отражатель (ПО). Известно, что неисправности машин с вращающимися элементами, каковым является ПО, служат одной из основных причин простоев и аварийных ситуаций силовых установок. Поэтому проблема обеспечения безопасности эксплуатации реактора требует создания соответствующих методик и систем диагностики.

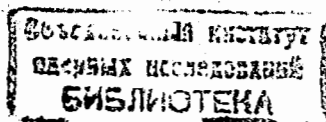
Одним из методов обнаружения развивающегося дефекта машинного оборудования служит диагностирование технического состояния на основе измерения механических колебаний (вибраций) системы. На ПО установлены вибрационные датчики, информация с которых заведена на стрелочные приборы на пульте управления и в СУЗ реактора. Это позволяет наблюдать уровень вибраций и отслеживать его выход за допустимые пределы.

Существенно более информативной является методика, основанная на измерении сигналов вибрации и анализе вибрационных спектров, полученных путем быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1]. С ее помощью можно получать предупредительную информацию на самых ранних стадиях возникновения потенциальных неисправностей, обычно за несколько месяцев до момента разрушения детали, в которой начал развиваться дефект.

Описанию компьютерной системы, основанной на такой методике, посвящена данная работа.

2. АППАРАТУРА СИСТЕМЫ

Система (рис.1) состоит из набора первичных датчиков - акселерометров с предусилителями, блока фильтров нижних частот и персонального компьютера (ПК) типа IBM PC с установленным в нем модулем аналогового и цифрового ввода-вывода ADIO [3].



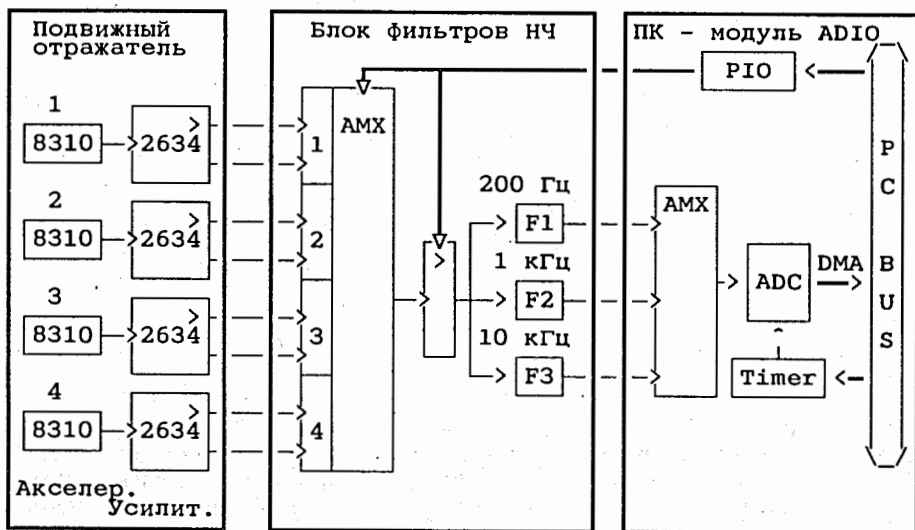


Рис.1. Структурная схема системы анализа вибраций подвижного отражателя реактора ИБР-2

Четыре вибрационных датчика - акселерометра типа 8310 фирмы "Брюль и Кьер" [2] установлены непосредственно на конструкции ПО:

- (1) редуктор - поперечная составляющая колебаний;
- (2) редуктор - продольная составляющая;
- (3) передняя опора - продольная составляющая;
- (4) передняя опора - поперечная составляющая.

Каждый датчик снабжен предусилительным устройством - дифференциальным усилителем заряда типа 2634 также фирмы "Брюль и Кьер".

Спектральные характеристики колебательных процессов конструкции ПО можно разбить на три поддиапазона - низкочастотный (1-200 Гц), средних частот до 2 кГц и высоких частот выше 2 кГц. Для выбора частотного диапазона измерений служит блок фильтров НЧ. Блок содержит аналоговый мультиплексор для выбора одного из четырех дифференциальных сигналов, поступающих от предусилителей 2634, программируемый усилитель с коэффициентом усиления 1-64 и три активных фильтра нижних частот. Фильтры характеризуются частотами среза 200 Гц, 2 кГц, 10 кГц, характеристикой Чебышева 6-го порядка и неравномерностью полосы пропускания 1%. Конструктивно фильтры выполнены в стандарте КАМАК, магистраль не используется.

Для оцифровки измеряемых сигналов, а также для управления входным мультиплексором и программируемым усилителем блока фильтров используется модуль аналогового и

цифрового ввода-вывода [3]. Модуль представляет собой плату, выполненную в стандарте электроники ПК и устанавливаемую в один из разъемов системного блока. Он содержит параллельный интерфейс и аналого-цифровой преобразователь (10 разрядов, 30 мкс) с 8-канальным аналоговым мультиплексором на входе.

Запуск АЦП производится аппаратно по сигналу программируемого таймера. Это позволяет оцифровывать входной сигнал с требуемым равномерным временным интервалом дискретизации входного сигнала, что необходимо для его обработки методом БПФ. Считывание данных в память ПК по каналу DMA обеспечивает максимальное (аппаратное) быстрое проведение передачи данных, разгружает процессор от рутинных операций и допускает использование в системе ПК даже самых младших моделей.

3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Основой программного обеспечения измерений является программа NOISE, которая предоставляет возможности производить цикл измерений в полуавтоматическом и автоматическом режимах с отображением данных на экране и накоплением их в памяти и на внешнем носителе, представлять информацию в графическом виде с возможностью получения "твердой копии".

Пользовательский интерфейс реализован в виде вложенных экранных меню, имеющих оконную структуру. Из главного меню возможен выбор следующих основных режимов (меню).

1. Протокол измерений. Этот режим позволяет выбрать, сигналы каких датчиков и в каких частотных диапазонах будут исследоваться в данном сеансе измерений. Дата измерения однозначно определяет имя, а номера датчика и диапазона - расширение файла данных. Например, в файле N021193.F12 записаны данные измерения, произведенного 2 ноября 1993 года с датчика 1 во 2-м частотном диапазоне (до 2 кГц). Такая формализация облегчает ведение архива и поиск данных.

2. Установка параметров. В диалоге могут быть установлены следующие параметры:

- длина выборки - размер входного буфера данных;
- число усреднений - входной сигнал может быть многократно (1-128 раз) измерен (оцифрован) с последующим его усреднением;
- визуализация - устанавливается размерность оси ординат при графической визуализации данных - в милливольтках либо децибелах;
- печать протокола - может быть установлен режим автоматического вывода результата каждого измерения на печать с графическим представлением фурье-спектра.

3. Запуск измерений - последовательно запускается процедура измерения и обработки для каждого из выбранных в меню п.1 сигналов, при этом производится:

- автоподстройка коэффициента усиления: на основе анализа входного сигнала выбирается такой коэффициент программируемого усилителя блока фильтров, при котором сигнал на входе модуля аналогового ввода соответствовал бы полному динамическому диапазону АЦП, что позволяет повысить точность измерений;

- набор входных данных (измерение) и фурье-преобразование;

- запись в файл данных;

- графическая визуализация фурье-спектра и его вывод на печать.

4. Визуализация файлов данных.

5. Контроль входных сигналов - просмотр "осциллограмм" сигналов любого из датчиков в заданных частотных диапазонах.

4. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Работа с данной системой заключается в измерении вибрационных спектров с определенной периодичностью с последующим их сравнительным анализом. Данные первых измерений принимаются за базу, относительно которой отслеживается динамика и тенденции изменения спектров.

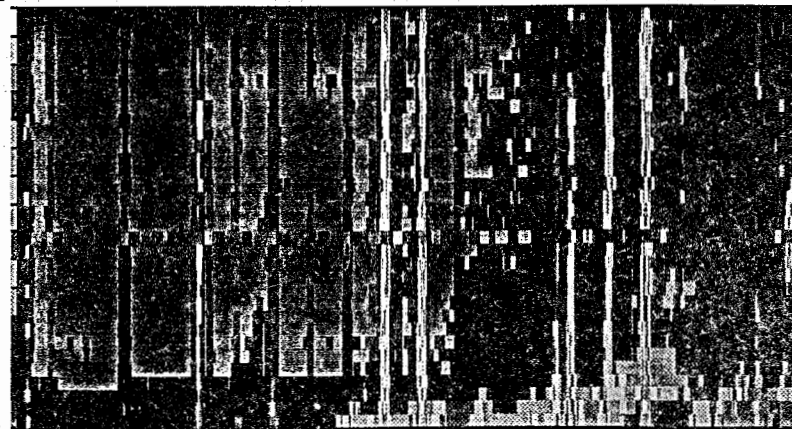
Результатом одного измерения в общем случае являются 12 фурье-спектров, полученных от 4-х датчиков в 3-х частотных диапазонах. Каждый спектр - это 400 значений амплитуды колебаний. За время эксплуатации системы накапливается достаточно большой объем информации, и для интерпретации результатов измерений и локализации дефектов необходим тщательный учет всех особенностей объекта диагностики.

На основе изучения конструкции ПО было установлено соответствие спектральных составляющих тем или иным механическим узлам и деталям. Анализ динамического нагружения ПО показывает, что основными источниками возбуждения вибраций являются вращающиеся элементы: валы основного и дополнительного подвижного отражателя (ОПО и ДПО), шестерни и промежуточный вал редуктора, привод редуктора - электромагнитная муфта и ротор приводного электродвигателя. Кроме того, динамические возмущения элементов ПО создаются также за счет газодинамических импульсов давления гелия, вызываемых вращением лопастей ОПО и ДПО.

Одной из основных причин вибрации в области низких частот ПО является неуравновешенность вращающихся элементов (ОПО и ДПО) и появление связанных с ней центробежных сил и моментов. Причинами неуравновешенности могут быть несоосности ОПО и ДПО с шейками их валов, кривизна оси вала, различие в массе лопасти и противовесов, перекосы, вызванные посадкой лопастей на валы, и пр.



1991



1994

Рис.2. Динамика развития вибрационных фурье-спектров, снятых с одного из датчиков, установленных на редукторе подвижного отражателя, с 1991 по 1994 годы. На топограмме изображена последовательность из 32 спектров

Колебания среднечастотного диапазона генерируются высшими гармониками сил, порожденных неуравновешенностью ОПО и ДПО, а также динамическими воздействиями шестерен редуктора (зубцовая частота), возмущениями в подшипниках и нарушениями геометрии кинематических связей системы редуктор-приводной двигатель.

В диапазоне высоких частот механические колебания представляют собой упругие волны, возбуждаемые трением в узлах ПО.

Изменения состояния оборудования сопровождаются заметным (на более чем 3-6 дБ) увеличением амплитуды определенной составляющей (или полосы) спектра. Затем, по мере распространения дефекта, медленно возрастает и общий уровень механических колебаний.

В случае плавного и медленного повышения уровня вибраций можно судить о скорости развития дефекта и оценивать время безопасной эксплуатации установки. При внезапном и быстром повышении уровня вибраций необходимо предпринимать оперативные меры.

5. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

С помощью созданной аппаратуры и программного обеспечения измерения механических колебаний ПО ИБР-2 проводились с января 1991 года. Периодичность измерений - 1 раз за цикл реактора, т.е. через каждые 12 дней непрерывной работы ПО. В результате в конце 1993 года было обнаружено как повышение уровня вибрации на частотах около 90 и 140 Гц, так и общее повышение вибрационного фона (рис.2). В результате анализа данная тенденция была интерпретирована как прогрессирующий дефект опорного подшипника, на основании чего в апреле 1994г. была произведена досрочная остановка реактора для замены ПО.

В заключение авторы выражают благодарность В.И.Луцикову за полезные консультации и деятельное участие в работе, Л.В.Едунову за большую практическую работу с системой и Г.П.Жукову за постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Н.Браун. Мониторизация состояния машинного оборудования путем анализа механических колебаний. "Брюль и Кьер", Нэрум, Дания, 1988.
2. Пьезоэлектрические акселерометры и преусилители. Справочник по теории и эксплуатации. "Брюль и Кьер", Нэрум, Дания, 1988.
3. В.Ф.Бобраков, А.Б.Тулаев. Модуль ввода-вывода аналоговой и цифровой информации для ПК типа IBM PC/XT/AT. ОИЯИ, P10-89-751, Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1995 года.

Бобраков В.Ф., Тулаев А.Б.

P10-95-18

Автоматизированная система анализа вибраций
подвижного отражателя реактора ИБР-2

Описана автоматизированная система анализа вибраций подвижного отражателя реактора ИБР-2, основанная на методе измерения сигналов вибрации и анализа вибрационных спектров, полученных путем быстрого преобразования Фурье. Система состоит из набора первичных датчиков — акселерометров, предусилителей, фильтров нижних частот и персонального компьютера типа IBM PC с установленным в нем модулем аналогового и цифрового ввода-вывода. На основе компьютерной диагностики технического состояния подвижного отражателя реактора ИБР-2 была получена база данных вибрационных спектров, обнаружен прогрессирующий дефект одной из деталей.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1995

Перевод автора

Bobrakov V.F., Tulaev A.B.

P10-95-18

Automated System for Vibration Analysis
of the Movable Reflector of the IBR-2 Reactor

An automated system to analyze vibrations of the movable moderator at the IBR-2 reactor is described. The system is based on measuring vibration signals and analyzing FFT-spectra. The system consists of a set of primary sensors—accelerometers, preamplifiers, low frequency filters, and an IBM PC computer with an analog and digital input-output unit. The computer diagnostics of the technical conditions of movable reflector provided a means for obtaining vibration spectra and, as a result, a progressive defect in one of the parts of reflector was detected.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1995