

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Афанасьев А.В.**

*научный руководитель: к.т.н., доцент Власов А.И.*

Московский Государственный Технический Университет им.Н.Э.Баумана  
кафедра «Проектирование и технология производства ЭА» (ИУ4)  
Москва, Российская Федерация

## HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR ENERGY EQUIPMENT VIBRODIAGNOSTICS

**Afanasyev A.V.**

*the scientific chief: Ph.D. Vlasov A.I.*

Bauman Moscow State Technical University named after Bauman  
Department IU4  
Moscow, Russian Federation  
[alex@icn.bmstu.ru](mailto:alex@icn.bmstu.ru)

### Аннотация

В настоящее время экономическая ситуация требует максимальной отдачи от любого оборудования, необходимость его своевременного ремонта и замены. Данная задача максимально просто и надежно для энергетического оборудования реализуется путем вибрационного мониторинга и вибрационного анализа. Основное внимание в работе уделено классификации методов виброанализа, поиску методов детектирования неисправностей и установке соответствия между определенной спектральной картиной и неисправностью. Разработан гибкий аппаратно-программный комплекс для решения задач вибродиагностики и вибромониторинга.

### Abstract

Present economic situation require the maximal feedback from the any equipment, necessity of its duly repair and replacement. For the energy equipment the given problem maximum simply and reliably is done by vibrating monitoring and the vibrating analysis. Attention is given to classification of methods vibroanalysis, to detecting of malfunctions methods search and determining interrelationship between the certain spectral picture and malfunction. The flexible hardware-software complex for the vibrodiagnostics and vibromonitoring problems decision is developed.

### 1. Введение

Любое энергетическое оборудование, имеющее вращающиеся или перемещающиеся части, к которому можно отнести все электрогенераторы и электродвигатели, создает механические колебания, являющиеся причиной многих дефектов и преждевременного износа механизмов. Как известно, одним из наиболее распространенных видов механических колебаний является вибрация. Комплекс параметров вибрации практически полностью характеризует техническое состояние работающего агрегата и, в принципе, позволяет прогнозировать возникновение неисправностей и аварий оборудования. Использование комплекса параметров вибрации для диагностирования состояния оборудования и называется вибродиагностикой.

Существующие методы вибродиагностики заключаются не в простом определении общего уровня механических колебаний, а в анализе спектров вибраций (анализ как самого спектра, так и его изменения во времени), волн колебаний, фазовых углов колебаний, спектров огибающей высокочастотной вибрации и др. Совокупный анализ этих параметров и сравнение с базовыми характеристиками, полученными экспериментально или на основе

теоретических исследований, позволяют судить не только о скором выходе из строя агрегата, но и указывают на тип имеющейся неисправности, что дает важнейшую информацию для правильной подготовки и проведения ремонта.

В последнее десятилетие были разработаны несколько эффективных методов обнаружения основных дефектов машин и оборудования по вибрации на этапе их зарождения. Естественно, что они основаны, в основном, на анализе высокочастотной вибрации, для возбуждения которой не нужны большие колебательные силы, но и проявляется она только в месте их действия, быстро затухая при распространении. Такие методы стали использоваться диагностами многих стран для перехода от вибрационного мониторинга к глубокой диагностике. Параллельно развивались методы автоматизации алгоритмов диагностики, что позволило ряду производителей диагностических систем заменить программным обеспечением высококлассных экспертов при решении типовых диагностических задач. Доля таких задач очень высока и превышает девяносто процентов от всех задач, решаемых путем анализа сигналов вибрации. Первые автоматические системы вибрационной диагностики были разработаны в 1991-1992 годах и постоянно совершенствовались [8].

В 1998 году появилось новое поколение систем автоматической диагностики машин по вибрации, разработанное совместно специалистами России и США, и объединившее лучшие из свойств как систем мониторинга, так и систем диагностики. Краткий анализ возможностей таких систем и особенностей их построения приводится ниже [2].

Разрабатываемый аппаратно-программный комплекс объединил все плюсы возможности слежения за вибрацией, анализа ее составляющих программными методами, возможности выдачи объективного ответа о состоянии как отдельных элементов системы, так и о состоянии системы в целом. Являясь центральным и ядром в системе слежения за состоянием технического объекта, АПК позволяет создать эффективную систему с минимальным временем простоя, а также минимизированными затратами на обслуживание и ремонт.

## **2. Задачи анализа по вибрации.**

Мониторинг машин и оборудования является лишь одной из ряда технических задач, в которых для диагностики используются измерения и анализ вибрации машин и оборудования. Такого рода задачи можно разделить на семь основных групп [1], в том числе:

- вибрационный мониторинг машин и оборудования;
- вибрационная диагностика;
- балансировка роторов по вибрации;
- обнаружение источников вибрации (шума);
- обнаружение источников акустической эмиссии;
- вибрационный модальный анализ;
- ультразвуковая дефектоскопия.

В каждой группе задач имеются свои ограничения как на объекты диагностики, так и на основные свойства вибрации, используемые для достижения оптимальных результатов. Для их описания вибрацию следует разделить, во-первых, по частотному признаку, а, во-вторых, по способу ее формирования.

По частоте, как правило, она делится на четыре области - низкочастотную, среднечастотную, высокочастотную и ультразвуковую.

По способу формирования - на вибрацию естественного происхождения (в машинах и т.п.) и искусственного, возбуждаемую специальным источником - вибратором.

Вибрация естественного происхождения используется для решения первых пяти групп задач, искусственного - для последних двух групп.

### 3. Методы диагностики вращающихся элементов энергоустановок.

Так как разрабатываемый АПК построен на модульном принципе, то он неспециализирован на решении строго одной задачи, что является существенным его достоинством, поскольку в энергетической промышленности есть масса схожих по типу задач, требующих для своего решения анализа параметров вибрации.

В данном разделе приведены некоторые возможные варианты применения разрабатываемого комплекса в энергопромышленности, основанные на анализе спектральных составляющих вибрации, снимаемой с энергетической установки.

Поскольку энергетические установки представляют собой сложную систему, образование и развитие дефектов в которой практически невозможно описать системами дифференциальных уравнений, поэтому описанные методы основаны на обобщении большого количества экспериментальных данных.

Подшипники скольжения являются неотъемлемой частью огромного количества механических агрегатов, а также нашли широкое применение в энергетическом оборудовании, таких как электрогенераторы, электродвигатели [6].

Подшипник скольжения состоит из трех основных элементов: антифрикционный вкладыш, часть поверхности вала, слой масла между вкладышем и валом.

#### 3.1. Автоколебания

В процессе работы, роторы агрегатов при определенных условиях нагружения могут потерять устойчивость и перейти в режим автоколебаний в радиальном направлении, что объясняется эффектом перерегулирования. Частота этого автоколебания у всех роторов обычно составляет 0.42-0.48 оборотной частоты ротора [6].

Часто в турбогенераторах рядом с частотой автоколебаний находится первая критическая частота ротора, поэтому для разделения этих двух пиков необходим спектральный анализ достаточно большого разрешения, что достаточно просто реализовать программными методами с помощью АПК.

#### 3.2. Увеличенный зазор в подшипнике скольжения

Типичная спектральная картина, возникающая при увеличенных боковых зазорах показана на рис.3.2.1.

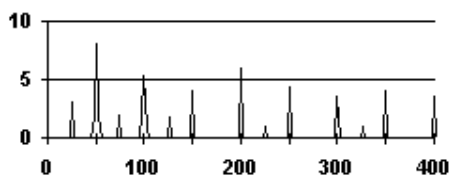


Рис. 3.2.1. Спектр подшипника качения при увеличенном боковом зазоре

При увеличении боковых зазоров образуется целый «лес» целых гармоник оборотной частоты, достигающее число 15-20. Наряду с этим имеется такое же большое количество дробных гармоник с кратностью  $\frac{1}{2}$  от оборотной частоты вращения вала, но гораздо меньшей амплитуде [6].

#### 3.3. Вибрации масляного клина

Дефект данного типа возникает в подшипниках скольжения проявляется в спектре вибросигнала в виде увеличения мощности субгармоники с частотой 0.42-0.48 от оборотной частоты вала. При значительной величине мощности этой субгармоники (более 50% оборотной частоты вала, рис.3.3.1) можно утверждать о серьезном характере дефекта [6].

Вибрации масляного клина проявляются обычно в условиях, где имеется значительное отклонение от нормальных условий эксплуатации: нагрузка на подшипник не соответствует расчетной, в агрегате присутствует еще одна возмущающая сила, значительные изменения рабочих параметров масла (вязкость, температура, давление).

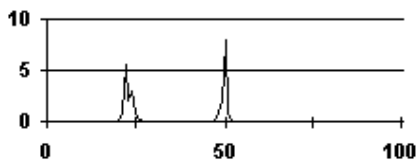


Рис. 3.3.1. Спектр вибрации с большой вибрацией масляного клина

Численное значение частоты масляных вибраций в одном и том же подшипнике может меняться, что дает возможность по величине этой частоты косвенно судить об относительном состоянии рабочих поверхностей подшипника. При смещении частоты ближе к 0.5 от оборотной – с достаточной степенью достоверности можно судить о хорошем состоянии поверхности вала и о худшем состоянии шейки вала. При стремлении частоты масляной вибрации к 0.4 от оборотной – лучшим по качеству является состояние поверхности шейки вала.

### 3.4. Неправильная установка подшипника

Данный дефект проявляется усилением первой и второй гармоник оборотной частоты ротора, причем значительно возрастает осевая составляющая общей вибрации до недопустимых значений [6].

При использовании сегментных вкладышей возможно проявление гармоники с частотой равной произведению оборотной частоты на число сегментов вкладыша.

По результатам сравнения вибраций в радиальном и осевых направлениях позволяет с достаточной степенью достоверности выявить ось перекоса вкладыша подшипника скольжения.

## 4. Программное обеспечение.

### 4.1. Структурно-функциональное построение комплекса

Для эффективности разрабатываемого программного обеспечения комплекса структура комплекса является модульной, создавая тем самым гибкую платформу для решения различного рода задач вибродиагностики.

В решении различных задач общим может быть, например, сбор данных (т.е. измерения производятся аналогичным образом, используя одинаковые аналого-цифровые преобразователи), а отличаться обработкой данных и экспертной оценкой. В случае модульного построения ПО нет необходимости каждый раз разрабатывать заново все ПО целиком, а сконцентрировать усилия только на самом важном, т.е. на реализации алгоритмического обеспечения выбранной математической модели обработки дискретных векторов данных и экспертной оценке. На рисунке 3.1. представлена предложенная схема модели построения модульности комплекса.

Выбор данной схемы построения модульности комплекса позволяет практически неограниченно расширять возможности комплекса по измерению дописывая отдельные модули и библиотеки модулей и встраивая их в комплекс. А поскольку интерфейс подключаемых библиотек является открытым, то это могут делать и сторонние разработчики, заинтересованные в наращивании определенных частей АПК.

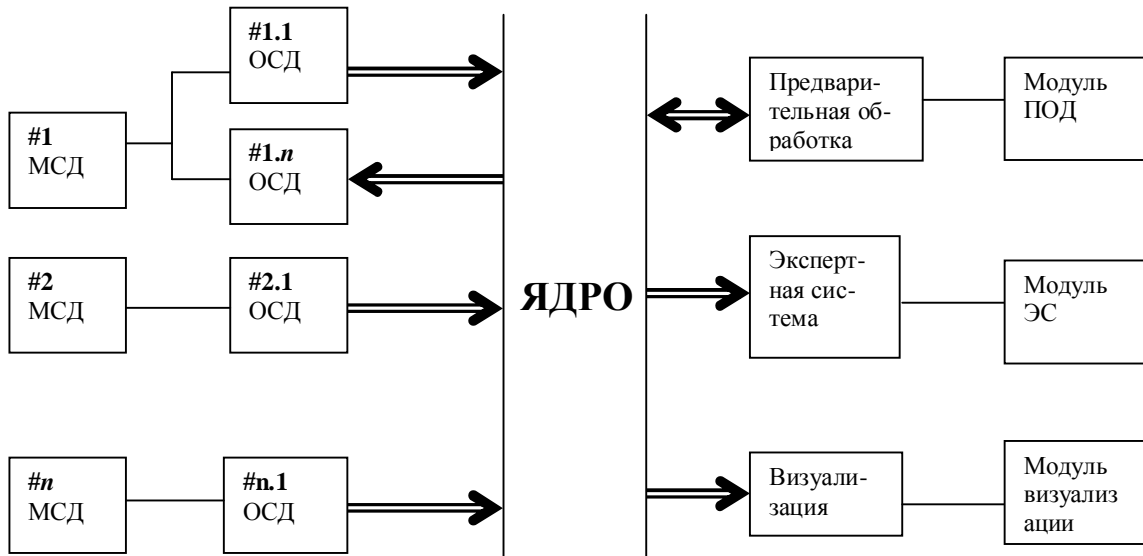


Рис.4.1.1. Модульная модель ПО АПК

Пояснение:

МСД – модуль сбора данных;

ОСД – объект сбора данных;

ЯДРО – «сердце» АПК, осуществляющее взаимодействие всех частей комплекса.

## 4.2. Реализация программного обеспечения.

Реализация предложенной модели структурно-функционального построения комплекса на модульном принципе сделана, используя СОМ технологию (Component Object Model) в реализации компании Microsoft (Win32 API). Как уже было отмечено выше, реализация всех возможных модулей АЦП, ЦАП, алгоритмов обработки данных, а также различных графических компонентов на основе модульного принципа (в нашем случае, используя СОМ технологию), позволяет разрабатывать дополнительные библиотеки компонентов комплекса на любом языке программирования, поддерживающим эту технологию, что, в свою очередь, дает возможность комплексу как наращивать свой потенциал, так и специализироваться на конкретную задачу. Подключение модулей к комплексу, а также взаимодействие модулей друг с другом обеспечивается поддержкой модулем расширения комплекса (или просто модулем) определенных т.н. СОМ интерфейсов, т.е. набора различных функций работы, экспортируемых модулем.

Согласно схеме модульного построения, основной и неотъемлемой частью комплекса, обеспечивающей своевременную загрузку кода СОМ компонентов в оперативную память, создание СОМ Объектов, организацию взаимодействия потоков, настройку режимов работы СОМ Объектов является ядро комплекса.

Каждому созданному СОМ

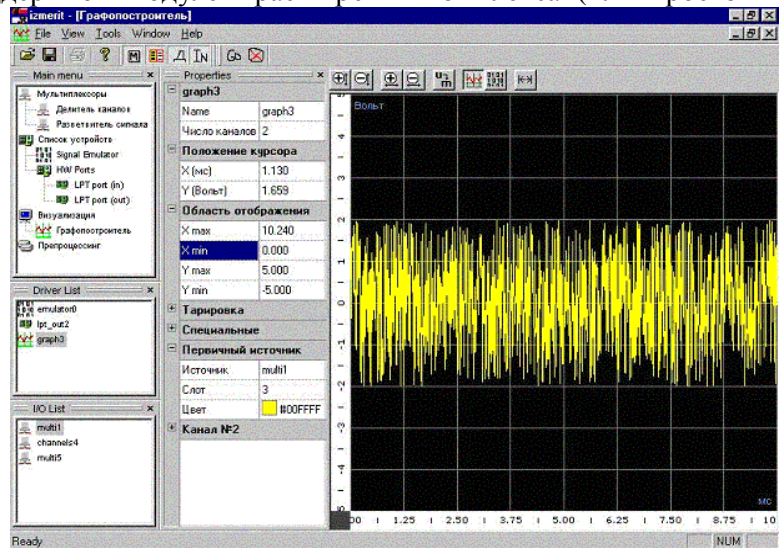


Рисунок 4.2.1. Основное окно АПК

Объекту присваивается внутренний уникальный идентификатор (IUID – Internal Unique ID), по которому объект опознается в системе. Ответственность за правильную раздачу IUID ложится на ядро. Для визуального различения пользователем различных созданных СОМ Объектов в системе также присутствует псевдо-уникальное сочетание букв и цифр, также называемое «кратким названием объекта».

#### 4.2.1. Ядро

Для обеспечения доступа к установленным в системе СОМ компонентам организовано иерархическое древовидное меню (далее главное меню), в котором компоненты с общим принципом действия объединены в единые подпункты (Main Menu на рис.4.2.1). Организация главного меню, в том числе изменение порядка и структуры расположения, добавление и удаление компонентов, ложится на пользователя. В связи с чем, ему предоставляется комплексом интерфейс конструктора комплекса, переключение в который осуществляется через меню Tools->Constructor. Физическое сохранение содержания меню осуществляется в специализированном файле menu.dat, который может быть расположен как в рабочей директории, так и в другой указанной директории. Этот файл состоит из последовательных записей, содержащих идентификационный номер опции, номер опции от которой происходит наследование (раскрывающийся список) название, краткое название, имя СОМ компонента в системе, а также другая служебная информация. При запуске программы осуществляется считывание содержимого файла меню в память. В случае, если комплексу не удалось найти файл меню, он предлагает создать этот файл в текущем рабочем каталоге. Создание древовидной структуры в окне “Main Menu” осуществляется путем динамического массива, таким образом временная сложность создания меню является  $O(n)$ , что может быть решающим фактором в случае большого числа установленных модулей в системе. Такой выбор построения меню обеспечивает любую вложенность меню, что облегчает группировку модулей по принципу действия и/или по каким-нибудь другим параметрам.

Ядро предоставляет возможность сохранения текущей настройки объектов для последующего восстановления, что является базовой функцией как для исследований возможностей комплекса, так и для работы комплекса в штатном режиме вибродиагностики объекта.

#### 4.2.2. Модули расширения

Как уже было отмечено, комплекс построен на модульном принципе, поэтому основным для функциональности комплекса является разработка набора компонентов комплекса, также называемых модулями расширения или просто СОМ компонентами. Модули расширения комплекса могут быть “пассивными” и “активными”. “Пассивные” модули начинают свою работу только при вызове какой-либо процедуры одного из поддерживаемых интерфейсов, т.е. для них в системе не создается отдельного потока (thread) задач. К “пассивному” модулю можно отнести модуль визуализации, который при получении вектора данных визуализирует их после чего передает управление процедуре его вызвавшей. С другой стороны для “активного” модуля при вызове функции Start() соответствующего интерфейса создается отдельный поток, в котором в цикле производятся определенные действия. При вызове функции Stop() соответствующего интерфейса этот поток выполнения завершается. К “активному” модулю относится например модуль разделения каналов данных, который в цикле запрашивает вектор данных, после чего в соответствии со своим алгоритмом разбивает это вектор на определенное число каналов и передает вновь созданные векторы данных всем модулям, на которые настроен этот модуль (используя интерфейс IExchanger). Для унификации в операционной системе каждому модулю должен быть присвоен уникальный номер CLSID (уникальный CLSID может быть сгенерен с помощью утилиты GUIDGEN.EXE поставляемой вместе с Microsoft Visual Studio 6.0) и дано символьное имя, по которому также можно опознать модуль в операционной системе.

## 5. Алгоритмы спектрального оценивания

Весь анализ составляющих вибрации основывается на сравнение мощностей определенных гармоник вибрации, а также изменение этих мощностей во времени и пространстве. Но поскольку первичным источником данных является не мощность отдельных гармоник, а мгновенное значение воздействия суммарной вибрации на датчик, то необходимы алгоритмы преобразования вектора воздействий в мощности отдельных гармоник.

### 5.1. Быстрое преобразование Фурье

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – это название целого ряда эффективных алгоритмов, предназначенных для быстрого вычисления дискретно-временного ряда Фурье (ДВРФ). Основная идея БПФ—деление  $N$ -точечного ДВРФ на два и более меньших ДВРФ, каждый из которых можно вычислить отдельно, а затем линейно просуммировать с остальными, с тем чтобы получить ДВРФ исходной  $N$ - точечной последовательности. Эти ДВРФ меньшего размера можно в свою очередь поделить на еще меньшие ДВРФ соответственно меньших последовательностей. В общем случае вычисление  $N$  точечного ДВРФ требует выполнения  $\log_2 N$  шагов с операциями сложения и  $\frac{N}{2}$  операциями умножения на каждом шаге. Таким образом,  $N$  точечное БПФ требует выполнения примерно  $N \log_2(N)$  сложений и  $N \log_2\left(\frac{N}{2}\right)$  умножений комплексных чисел, что значительно меньше тех  $N^2$  операций, которые необходимы для раздельного вычисления  $N$  значений преобразования по  $N$  точечной последовательности данных. Если используется дополнение нулями, то за счет исключения, или удаления, вычислительных путей, содержащих одни лишь нулевые значения, можно достичь еще большего уменьшения объема вычислений.

Алгоритмы БПФ делятся на алгоритмы с прореживанием по времени и по частоте; алгоритмы с основанием 2, с произвольным составным основанием  $N = N_1 N_2$ , с

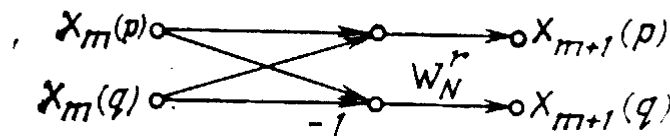


Рисунок 5.1.1 Граф операции «бабочка».

произвольным основанием  $N$  [5]. В разработанном измерительном комплексе используется алгоритм с прореживанием по частоте с основанием 2. Сущность алгоритма сводится к разбиению исходной последовательности  $x(nT)$  на две последовательности:

$$\left. \begin{aligned} X(2k) &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} (x_1(nT) + x_2(nT)) W_{\frac{N}{2}}^{nk} \\ X(2k+1) &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} (x_1(nT) + x_2(nT)) W_N^n W_{\frac{N}{2}}^{nk} \end{aligned} \right\} (5.1.1)$$

Полученные  $\frac{N}{2}$ -точечные БПФ аналогичным образом можно представить через  $\frac{N}{4}$  точечные и т.д., пока не останутся только двухточечные (всего  $v = \log_2 N$  ступеней преобразований). На  $m$ -й ступени ( $m=0, \dots, v-1$ ) производится преобразование множества  $N$

комплексных чисел  $X_m(n)$  в множество комплексных чисел  $X_{m+1}(n)$  в соответствии с базовой операцией «бабочка», описываемая выражениями:

$$\left. \begin{aligned} X_{m+1}(p) &= X_m(p) + X_m(q) \\ X_{m+1}(q) &= (X_m(p) - X_m(q))W_N^r \end{aligned} \right\} (5.1.2)$$

, где  $p, q, r$ - для каждой ступени определяются из выражения (5.1.1) направленный граф операции «бабочка» изображен на рисунке 5.1.1.

## 5.2. Оценивание автокорреляции и взаимной корреляции

Автокорреляционная последовательность  $r_{xx}[m]$  эргодического процесса оценивается по имеющейся конечной записи данных. Если имеется  $N$  отсчетов данных  $x[n], n=0, \dots, N-1$ , то выражение для дискретно-временной оценки корреляции имеет вид [5]:

$$\hat{r}_{xx}[m] = \frac{1}{(N-m)T} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]x^*[n]T = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]x^*[n]. \quad (5.2.1)$$

Дискретная последовательность (5.2.1) формирует несмещенные оценки истинной автокорреляции [5]

$$\mathcal{E}\{\hat{r}_{xx}[m]\} = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} \mathcal{E}\{x[n+m]x^*[n]\} = r_{xx}[m]. \quad (5.2.2)$$

Зависимость дисперсии этой оценки автокорреляции, как показали Дженкинс и Ваттс, от числа отсчетов данных в случае гауссовских процессов дается приближенным выражением [5]

$$\text{var}\{\hat{r}_{xx}[m]\} \approx \frac{N}{(N-m)^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} (r_{xx}^2[k] + r_{xx}[k+m]r_{xx}[k-m]) \quad (5.2.3)$$

Поскольку при больших временных сдвигах усреднение возможно лишь по небольшому числу отсчетов данных, то с увеличением индекса временного сдвига  $m$  статистическая неопределенность оценки автокорреляции возрастает. При увеличении  $N$  значение дисперсии стремится к нулю.

Альтернативная оценка автокорреляции имеет вид [5]:

$$\check{r}_{xx}[m] = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]x^*[n], & 0 \leq m \leq N-1; \\ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} x^*[n+|m|]x[n], & -(N-1) \leq m < 0. \end{cases} \quad (5.2.4)$$

Эта оценка отличается от оценки  $\hat{r}[m]$  только нормирующим множителем, т.е.

$$\check{r}_{xx}[m] = \frac{N-|m|}{N} \hat{r}_{xx}[m]. \quad (5.2.5)$$

При конечном  $N$  оценка (5.2.4) является смещенной, однако при  $N \rightarrow \infty$  она будет асимптотически несмещенной. Смещенная оценка взаимной корреляции будет определяться следующим выражением [5]

$$\check{r}_{xy}[m] = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]y^*[n], & 0 \leq m \leq N-1; \\ \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-|m|-1} y^*[n+|m|]x[n], & -(N-1) \leq m < 0. \end{cases} \quad (5.2.6)$$

## 6. Выводы

В рамках работы был разработан и отлажен универсальный АПК, основное внимание было уделено синтезу ядра, обеспечивающего взаимодействие отдельных пользовательских



процессов по сбору, анализу и визуализации данных, а также визуализации экспертных заключений. Разработаны и внедрены в ядро СОМ интерфейсы для стандартного подключения модулей расширения к комплексу, разработан ряд примеров для возможности разработки и подключения к комплексу модулей сторонними разработчиками.

Создана база модулей расширения комплекса для работы в неспециализированных условиях, включающая в себя модули сбора/генерации данных с помощью полупрофессиональной АЦП/ЦАП L761 производства отечественной компании L-CARD, сбора/генерации данных с малоразрядного АЦП/ЦАП стандартной звуковой карты персонального компьютера, сбора/генерации данных по цифровым каналам стандартного параллельного порта (LPT) ПК, модуль мультиплексирования потока данных с одного источника на несколько «потребителей», универсальный модуль визуализации потока данных с описанием его использования в прикладных целях.

Проведен анализ и систематизация алгоритмов, пригодных для оценки мощности отдельных составляющих спектра вибрации. Наиболее эффективные алгоритмы реализованы в виде модулей расширения аппаратно-программного комплекса.

Проведены исследования основных методов вибродиагностики и даны рекомендации по мониторингу дефектов оборудования, в частности подшипников скольжения, являющихся одними из важнейших конструктивных элементов электрических машин и оборудования.

Универсальный измерительный комплекс создавался в рамках с совместной работы с ОАО Электросилы и МНТПО «Спектр» по созданию компьютерных средств неразрушающего контроля и диагностики.

### Литература

1. Барков А.В., Баркова Н.А. «Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации» // Труды Петербургского энергетического института повышения квалификации Минтопэнерго Российской Федерации и Института вибрации США (Vibration Institute, USA), Выпуск 9, Санкт-Петербург, 1999 г.)
2. Барков А.В. «Возможности нового поколения систем мониторинга и диагностики» // Журнал «Металлург», № 11, 1998 г
3. Власов А.И. Аппаратная реализация нейрорадаптивных систем активного управления волновыми полями в промышленном стандарте РС-104 // Информационные технологии.- 1998, №12. С.13-17.
4. Коллакот Р.А. «Диагностирование механического оборудования» Пер. с англ.- Л.: Судостроение.- 1980.-296с.
5. Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н. «Виртуальный измерительный комплекс» // Датчики и системы. №4. 2000 - стр. 12 - 22.
6. Русов В.А. "Спектральная вибродиагностика" 1996 г.
7. Тейлор Д.И. Идентификация дефектов подшипников с помощью спектрального анализа: Пер. с англ.- Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1986.-т. 102, №2.-с.1-8.
8. Явленский К.Н., Явленский А.К. «Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем». - Л.: Машиностроение, 1983.-239с.