

УДК 681.5.621.822.6

## **ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА МАШИН И МЕХАНИЗМОВ РОТОРНОГО ТИПА**

**ГАСАНЛИ Ш.М., ГУСЕЙНОВ Э.К.**

*Институт Физики НАН Азербайджана*

В настоящее время для эффективного контроля фактического состояния технического оборудования, прогнозирования изменения их состояния со временем выработки, значительные снижения материальных и трудовых затрат на технические обслуживания и ремонт, обеспечения безаварийной эксплуатации дорогостоящего уникального оборудования немислимо без средств виброакустического диагностирования. Это связано с тем, что виброакустическая диагностика позволяет не только выявить неисправности и предотвратить катастрофические разрушения, но и обнаружить развивающиеся дефекты на очень ранней стадии, что дает возможность прогнозировать аварийную ситуацию, а также обоснованно планировать сроки и объем ремонта оборудования, проводить анализ и качество проведенных работ.

Виброакустическая диагностика машин и механизмов роторного типа является самостоятельным научным направлением технической диагностики, которое возникло на стыке акустической динамики машин с теориями сигналов и распознавания дефектов.

В основу виброакустической диагностики входит анализ колебательных процессов, являющихся непосредственными результатами взаимодействия деталей конструкции машин. По этой причине виброакустический сигнал, который распространяется в конструкции оборудования, является носителем информации о техническом состоянии деталей и узлов оборудования, которые образуют кинематические пары, например, колесную пару в зубчатом зацеплении, тел качения, сепаратор в подшипнике качения и т.д. Наряду с этими явлениями, в механизме имеет место также и взаимодействие движущихся или вращающихся деталей с внешней средой, например, вращения лопаток турбин или лопастей винта в потоке газа или пара, кавитация в жидкости и т.д.

Существует большое число моделей виброакустических процессов, позволяющих установить однозначную связь между характеристиками вибросигнала и параметрами технического состояния машинных механизмов, например, квазиполигармоническая модель, импульсная модель вынужденных колебаний, огибающая акустического сигнала и т.д. Среди них наиболее широко распространенным является метод диагностики по спектру огибающей вибросигнала [1].

Настоящая работа посвящена разработке методики без разборной диагностики подшипников качения в машинах роторного типа по спектру огибающей высокочастотного вибросигнала.

Повреждения подшипников в эксплуатационных условиях могут быть условно разделены на следующие группы: а) разрушения от усталости материала, б) повреждения от повышенного износа, в) разрушения, вызываемые изменением зазоров и посадок между деталями подшипников и опорами ротора, г) повреждения из-за недостаточности или прекращения подачи смазочного материала.

Для выявления и анализа этих, а также других видов дефектов, нами разработана программа компьютерной обработки результатов измерений высокочастотного

акустического шума, непосредственно в процессе эксплуатации работающих машин и механизмов роторного типа.

Перед тем, как перейти к изложению сути метода следует подчеркнуть, что для формирования диагностических признаков обычно используют узкополосный диапазон спектра виброшумов, например, в зоне одной гармоники. В таком случае колебания деталей и узлов удобнее всего представлять в виде амплитудной модуляции высокочастотных колебаний, которая математически описывается выражением вида[2].

$$Y(t) = A[1 + mF(t)\cos(\omega_0 t + \varphi)] \quad (1)$$

где  $\omega$ -несущая частота,  $A$ -амплитуда,  $m$ -коэффициент глубины амплитудной модуляции, меняется в пределах от 0 до 1 и определяется как  $m = (A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\max} + A_{\min})$  ( $A_{\max}$  и  $A_{\min}$ ) – максимальный и минимальный размахи амплитуды промодулированного сигнала,  $F(t)$ - модулирующая функция, и она может быть представлена в общем виде суммой синусоидальных и косинусоидальных колебаний

$$F(t) = \sum_{k=1}^n C_k \cos(k\Omega t + \varphi_k) \quad (2)$$

С учетом формул (1) и (2), а также разложением на суммы простых косинусоидальных колебаний, результирующий амплитудно-модулированный процесс будет иметь следующий вид

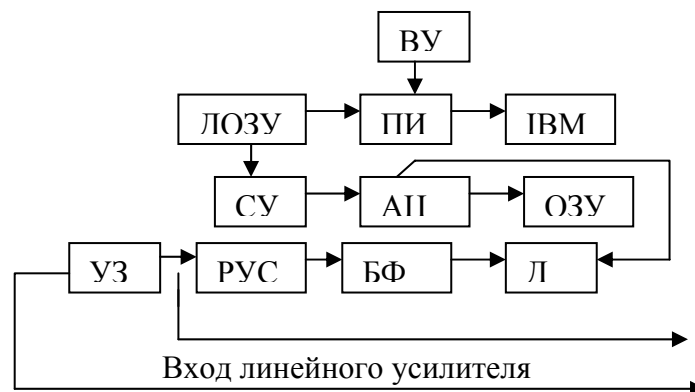
$$Y(t) = A[\cos(\omega_0 t + \varphi) + \sum_{k=1}^n A m k / 2 \cos[(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi + \varphi_k] + \sum_{k=1}^n A m k / 2 \cos[(\omega_0 - k\Omega)t + \varphi - \varphi_k]] \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что спектр состоит из колебания несущей частоты с амплитудой  $A$  и двух симметричных боковых  $n$ -колебаний с частотой  $(\omega + k\Omega)$   $(\omega - k\Omega)$  и с амплитудой  $m k A / 2$ -соответственно. Из этого следует, что путем разложения спектра вибросигнала на гармоники его частоты и идентификацией этих частот известными частотами данного узла можно выявить диагностические признаки эксплуатационных дефектов узлов роторных машин.

В предлагаемой методике за основу взят вышеизложенный метод обработки вибросигналов.

Для количественной оценки глубины развития дефекта и определения его типа выполняется следующая последовательность операций: с помощью вибродатчиков вибросигналы от работающего узла (см.рис.1) в определенных частотных диапазонах записываются в спектроанализатор.

Схема тракта измерения, записи и анализа прямого сигнала огибающей приведена на рис.1.



Вход усилителя заряда

Рис. 1. Схема тракта измерения, записи и анализа прямого сигнала и огибающей. ВУ- Вычислительное устройство, ПИ- приборный интерфейс, KRS232-контроллер интерфейса, ДОЗУ- долговременное оперативное запоминающее устройство, ОЗУ-

оперативное запоминающее устройство, СУ-система управления, АЦП- аналого-цифровое устройство, БФ- блок фильтров, РУС –регулируемый усилитель, УЗ-усилитель.

После сбора вибродиагностическая информация через схемы RS-232 передается на IBM. Разработанной программой выделяются дискретные составляющие из спектра огибающей высокочастотного вибросигнала(см. рис 2 и 3), которые могут соответствовать различным дефектам. Частоты дискретных составляющей рассчитываются на основании известных данных о частоте вращения вала по известным формулам [3] и параметров подшипников качения (наружный и внутренний диаметры, диаметр тел качения, количество тел качения, угол контакта тел качения), зубчатых зацеплений (число зубьев), число лопаток в турбинах и вентиляторах и т. д. Затем производится идентификация вида дефектов и сравнения диагностических признаков исследуемой машины с пороговыми значениями, заложенными в программу и, наконец, оценка глубины развития дефектов.

Опытным путем было установлено, что при  $m < 6\%$ -соответствует зарождающемуся дефекту (ранняя стадия), при  $m < 15\%$ -развитому дефекту (допустимо), при  $m < 40\%$ - требует принятия мер,  $m > 40\%$ -сильному (недопустимо) дефекту подшипника.

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены спектры огибающей подшипника качения для электродвигателя. Как видно из рис.3, в спектре присутствуют дискретные гармоники с частотой вращения ротора, но с малой амплитудой, что характеризует нормальное состояние подшипника, а из рис.2 видно, что в спектре присутствуют интенсивные периодические составляющие, кратные оборотной частоте, и частота прокатывания тел качения по наружному и внутреннему кольцу, сепараторная частота, что свидетельствует о неравномерном износе тел качения и обоймы сепаратора.

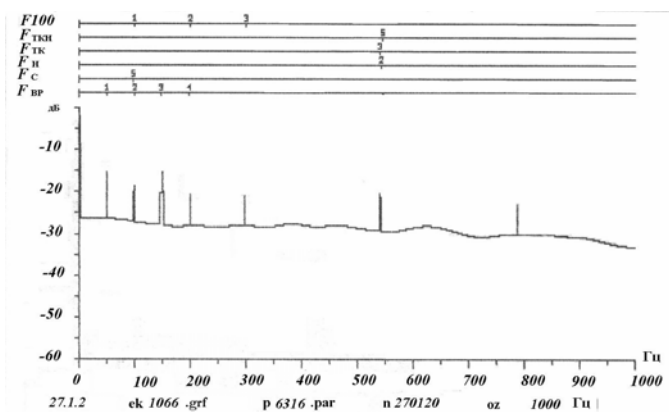


Рис.2. Спектры огибающей электродвигателя

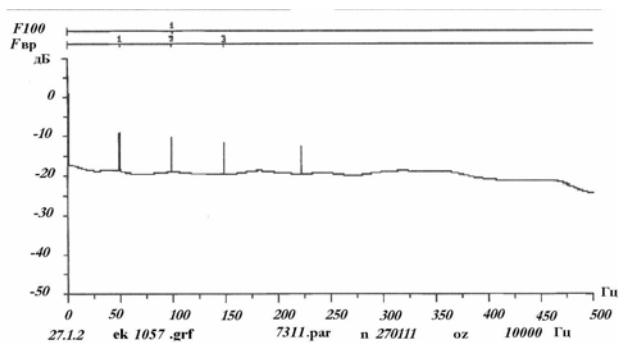


Рис.3. Спектры огибающей вибросигналов

Для качественного проведения измерений спектров виброшумов, вследствие существенного затухания амплитуды высокочастотной вибрации по мере удаления от исследуемой опорной точки (подшипника), необходимо при записи спектров виброшумов, вибродатчик, преобразующий механические колебания в электрические сигналы, установить максимально близко к месту расположения подшипника. Помимо этого, для повышения точности измерений, следует обеспечить качественное (плотное, равномерное по всей рабочей поверхности) прилегание вибродатчика к поверхности агрегата в исследуемой опорной точке. С этой целью целесообразно применять консистентную смазку.

Описанная методика, позволяющая диагностировать дефекты сборки и износа, соосность и центровку многомашинных агрегатов, зарождение и степень развития дефектов подшипников качения и скольжения, а также состояния их смазки, наконец, наличие трещин и обрыв лопаток турбин и вентиляторов, неоднократно использована авторами для диагностики оборудования нефте- и газоперекачивающих станций, теплоэлектрических станций, водоканала, железнодорожного транспорта и метрополитена, а также других промышленных объектов Республики, эксплуатирующих электродвигатели, насосы, редукторы, турбины, компрессоры и иные машины роторного типа. В частности, из анализа спектров вибрации и шума деталей и узлов машин, разработанная методика позволяет выявить следующие виды дефектов: В подшипниках качения:

- перекос наружного и внутреннего колец;
- износ тел качения и сепаратора;
- сколы, раковины и трещины на поверхностях тел качения;
- износ наружного и внутреннего колец и т.д;

В подшипниках скольжения:

- неуравновешенность ротора;
- износ шейки вала и вкладышей;
- повышенный зазор при неплотной посадке подшипника;
- отклонение от соосности;
- нарушение режима и качества смазки и т.д.

В турбинах и вентиляторах трещины и обрывы лопаток роторов.

Таким образом, разработанная методика и программное обеспечение позволяет осуществлять обработку виброакустических спектров виброшумов от узлов и деталей машин роторного типа, на основе которой оказывается возможным выявление зарождающего дефекта, степень его развития, идентифицировать эти дефекты и установить причину их появления. Полученные результаты анализа выявленных дефектов позволяют выработать конкретные рекомендации по их устранению и устанавливать остаточный ресурс оборудования.

- 
1. *М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. Виброакустическая диагностика машин и механизмов, Машиностроение, 1987 г.*
  2. *Вибрация в технике: Справочник в 6-ти томах./Ред. В.Н. Чаломей. Машиностроение, 1980.*
  3. *Технические средства диагностирования: Справочник./ Ред. В.В.Клюев. Машиностроение, 1989.*

## **ROTOR TIPLİ MAŞIN VƏ MEXANİZMLƏRİN VİBROAKUSTİK DİAQNOSTİKASI**

**HƏSƏNLİ Ş.M., HÜSEYNOV E.K.**

Təklif edilən işdə rotor tipli maşın və mexanizmlərinin diyircəkli və sürüşkən yastıqlarında yaranmış defektləri vibroakustik diaqnoz etmə metodu təklif edilmişdir.

Metod neft-qaz istehsalında, su və istilik elektrik stansiyalarında istifadə edilən avadanlıqlarda, o cümlədən, elektrik mühərriklərində, nasoslarda, turbinlərdə, kompressor və generatorlarda və i.a. yığılma və işləmə zamanı yaranan defektləri aşkar etməyə imkan verir. Metodun üstünlüyü ondan ibarətdir ki bu metod avadanlıqları sökmədən onlarda mövcud olan defektləri, onların yaranma səbəblərini, inkişaf dərəcəsini, defektlərin aradanqaldırılma üsulları haqda əvvəlcədən dəqiq rəy və təkliflər verir.

## **VIBROACOUSTICAL DIAGNOSTICS OF MACHINES AND MECHANISMS OF ROTOR TYPE**

**GASANLI SH.M., GUSEYNOV E.K.**

In operation the method of vibroacoustical diagnostics of technical status of machines and mechanisms is offered. The basis of an offered method is compounded by spectral analysis of high-frequency hum of working mechanisms. The method allows without contact by to reveal flaws of rolling bearings and slide in electromotors, generators, ventilators, turbines, compressors etc. Results of the analysis of the revealed flaws allows to produce the concrete references on their elimination and to erect a residual resource of equipment.