

## **СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ**

**Волнейкин И.В.**

**научный руководитель канд. техн. наук Шигин А. О.**

*Сибирский федеральный университет*

Затраты на обслуживание и ремонт являются одним из важнейших эксплуатационных показателей любой технической системы. Их минимизация в тех случаях, когда система является ремонтпригодной, практически невозможна без эффективного контроля состояния системы. В современных средствах контроля и диагностики, по крайней мере вращающегося оборудования, основным видом анализируемых процессов становится вибрация, активно вытесняя многие другие процессы, в том числе и тепловые. Причины не только в том, что вибрационная диагностика эффективнее и имеется тенденция к быстрому снижению затрат на ее реализацию, но и в том, что начать диагностику по вибрации можно в любое время, в том числе и через несколько лет эксплуатации оборудования, когда затраты на профилактические работы и ремонт превысят экономически оправданную величину.

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.

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.

### **Задачи и объекты мониторинга и диагностики.**

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

**Вибрационный мониторинг.** Его объектами являются прежде всего машины и оборудование - источники вибрации. Отличительной особенностью таких объектов можно считать наличие в них колебательных сил, возникающих, например, при движении отдельных узлов или потоков жидкости (газа), при действии переменных электромагнитных полей. Только в редких случаях объектами мониторинга может быть оборудование, не являющееся источником колебательных сил и вибрации, но по которому распространяется вибрация от другого источника.

Назначением вибрационного мониторинга является обнаружение изменений вибрационного состояния контролируемого объекта в процессе эксплуатации, причинами которых во многих случаях являются дефекты.

Мониторинг машин и оборудования проводится прежде всего по низкочастотной и среднечастотной вибрации, которая хорошо распространяется от места формирования до точек ее контроля. Число таких точек может быть сведено к минимуму, до одной-двух на каждый объект мониторинга, имеющий общий корпус, а измерения вибрации могут проводиться без изменения режима работы объекта. В системе мониторинга, если она не включена в систему быстродействующей аварийной защиты, может использоваться аппаратура с одним каналом измерения вибрации, к которому последовательно подключаются все используемые датчики вибрации. Эти меры позволяют существенно снизить стоимость системы мониторинга без снижения достоверности получаемых результатов.

**Вибрационная диагностика.** Ее объектами являются те же машины и оборудование, которые охватываются системами вибрационного мониторинга. Вибрационная диагностика чаще всего используется или для выходного контроля качества изготовления (ремонта) и сборки машин, или для их предремонтной дефектации, или для обнаружения дефектов и слежения за их развитием в процессе эксплуатации. Для каждого из перечисленных случаев могут использоваться разные методы диагностики. В последнем случае диагностические измерения могут проводиться без смены режима работы объекта диагностики.

В отличие от мониторинга назначением вибрационной диагностики в процессе эксплуатации оборудования является обнаружение изменений и прогноз развития не вибрационного, а технического состояния, причем каждого из его элементов, для которого существует реальная вероятность отказа в период между ремонтами. Для этого измеряется не только низкочастотная и среднечастотная, но и высокочастотная вибрация, а также используются более сложные, чем при мониторинге, методы анализа вибрации, позволяющие получать полный объем диагностической информации. Вибрация измеряется на каждом диагностируемом узле или, по крайней мере, в точках перехода высокочастотной вибрации от диагностируемого к другим узлам объекта, доступным для измерения вибрации. Используемая аппаратура также может иметь только один канал измерения и анализа вибрации.

**Балансировка роторов.** В процессе эксплуатации машин их вибрация на частоте вращения ротора может расти и для ее снижения приходится балансировать ротор непосредственно на месте эксплуатации каждой машины. Объектами балансировки на месте эксплуатации, как правило, являются машины, в которых есть доступ к плоскостям балансировки, т.е. к местам, в которых на вращающихся частях можно закреплять балансировочные массы.

Основным назначением балансировки является уравнивание ротора и, тем самым, снижение низкочастотной вибрации машины. Но вибрация на частоте вращения ротора далеко не всегда определяется центробежными силами, поэтому добиться значительных и стабильных результатов в большинстве случаев удастся лишь с помощью средств, определяющих причины роста вибрации в каждом случае, т.е. решающих и диагностические задачи. Балансировка на месте эксплуатации машины проводится по вибрации и с помощью тех же приборов, что и вибрационная диагностика.

Средства измерения вибрации для балансировки ротора должны иметь, как минимум два канала измерения, один из которых определяет амплитуду вибрации на частоте вращения, а другой (канал с датчиком оборотов) - ее фазу относительно выбранной метки на роторе. При поиске дефектов, ограничивающих возможности балансировки, дополнительно к низкочастотной может измеряться и высокочастотная вибрация опор ротора или корпуса машины. Вибрация измеряется в типовых режимах работы машины, на которых необходимо производить балансировку.

**Обнаружение источников вибрации (шума).** Подобная задача на производствах возникает прежде всего при поиске утечек, особенно в протяженных трубопроводах, недоступных для визуального осмотра. Решается она, как правило, во время проведения различного рода испытаний с повышением давления в трубопроводах или после обнаружения изменения состояния объекта контроля средствами мониторинга.

В том случае, когда необходимо найти источник повышенной вибрации среди большого количества объектов, недоступных для установки датчиков вибрации, обнаружение проводится по шуму, излучаемому этим источником. Для выполнения такой работы, назначением которой является и обнаружение координат источника, используется измерительная аппаратура, по крайней мере с двумя каналами измерения либо шума в газообразной или жидкой среде, либо высокочастотной вибрации, например, на стенках трубопроводов.

**Обнаружение источников акустической эмиссии.** Обнаружение утечек в сосудах высокого давления и трубопроводах происходит тогда, когда дефект уже настолько значителен, что требует срочного вмешательства. На ранней стадии развития дефекты, приводящие к утечкам, обнаруживаются по акустической эмиссии дефектных участков нагруженных оболочек и конструкций, в результате которой во время формирования микротрещин возникает ультразвуковая вибрация. Она хорошо распространяется по однородному материалу, не имеющему сварных и других видов соединений, и регистрируется высокочастотными датчиками вибрации даже на значительном расстоянии от источника эмиссии.

По акустической эмиссии обнаруживаются зарождающиеся дефекты не только сосудов, находящихся под давлением, но и различных металлических строительных конструкций, мостов, кранов и т. д. Для повышения чувствительности средств обнаружения и для определения места возникновения дефектов используются

многоканальные средства одновременного измерения высокочастотной вибрации, отличающиеся повышенной сложностью. Методы обнаружения акустической эмиссии эффективны тогда, когда в объекте контроля отсутствует высокочастотная вибрация, возбуждаемая другими источниками, например, потоками газа или жидкости, как это имеет место в трубопроводах под давлением. В последних случаях приходится принимать специальные меры для разделения источников вибрации, которые далеко не всегда оказываются достаточными.

**Вибрационный модальный анализ.** Его объектами являются не только машины, оборудование и их узлы, но и составные части различных конструкций, сооружений и т. д. Используется этот вид анализа для определения таких механических свойств объектов, как частоты резонансов, формы колебаний и других.

Назначением модального анализа может быть как отработка новых конструкций машин и оборудования, так и выходной контроль серийно выпускаемых изделий, и прежде всего по значениям резонансных частот либо объекта в целом, либо отдельных его узлов. Для решения диагностических задач в процессе эксплуатации машин и оборудования системы модального анализа используются нечасто, и в первую очередь из-за сложности собственно систем и их обслуживания. Составными частями таких систем являются источник вибрации и несколько (не менее двух) каналов для ее измерения и анализа.

**Ультразвуковая дефектоскопия.** Объектами дефектоскопии являются отдельные элементы машин, оборудования, конструкций и сооружений, как правило, находящихся в стадии изготовления или восстановления. Средства дефектоскопии, использующие внешние источники ультразвуковой вибрации, по своей структуре и назначению похожи на средства модального анализа “в миниатюре”, но в них есть и другие отличительные черты, кроме области частот измеряемой вибрации. Так, дефектоскопия использует волновые свойства вибрации, в частности ее отражение от различных неоднородностей и потери при распространении. Это позволяет обнаружить и локализовать дефектные участки внутри деталей или их заготовок, что и является основным назначением средств ультразвуковой дефектоскопии. Подобные средства, как и средства модального анализа, весьма редко используются для диагностики машин в процессе эксплуатации. Одной из причин этого является высокая эффективность методов и средств дефектоскопии, использующих другие виды излучений, например электромагнитное, рентгеновское и т. д.