

УДК 620.192

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

П. О. Берзин, студент гр. ТЭб-132, II курс
Научный руководитель: И. Л. АБРАМОВ, к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Надежность и безопасность теплоэнергетического оборудования обеспечивается экспертизой промышленной безопасности. В нее входят неразрушающий контроль, техническое освидетельствование, техническое диагностирование, обследование технического состояния.

К основным видам дефектов роторного теплоэнергетического оборудования относятся: несоосности (26%), дисбалансы (17%), дефекты подшипников (31%), механические ослабления (7%) и прочие (17 %).

Существует два основных подхода к оценке работоспособности машин: интегральный и локальный. Интегральные методы позволяют оценить средний уровень износа деталей машины. Примерами интегральных методов является оценка общего уровня вибрации в диапазоне частот при виброконтроле или оценка состояния машины по включениям продуктов износа в масле. Локальные методы более сложны в реализации, но позволяют обнаружить и оценить отдельные виды дефектов. В вибродиагностике к таким методам относится спектральный анализ. Спектральный анализ - один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала. В структуре спектра колебаний можно выделить следующие частоты и частотные диапазоны: оборотная частота - f_r , субгармоники, обертоны, высокочастотный диапазон, синхронные и несинхронные частоты. Преобразование Фурье является математической основой, которая связывает временной сигнал (или же некоторую модель этого сигнала) с его представлением в частотной области. Оценка состояния по значениям параметра в частотных полосах (опорным маскам).

Одним из базирующихся на спектральном анализе является метод оценки состояния по значениям параметра в частотных полосах (опорным маскам). Этот метод распознавания состояния оборудования является компромиссным между оценкой состояния оборудования по общему уровню вибрации и по эталонному спектру, поскольку дает возможность произвольно устанавливать положение, ширину частотной полосы и допустимое значение параметра (критерия), который сравнивается с текущими значениями. На основе анализа изменения (тренда) параметра в этой полосе можно оценивать и прогнозировать

вать состояние оборудования. Количество частотных полос обычно составляет от 6 до 18 (рис. 1).

Метод основан на том, что определенные механические дефекты по мере развития генерируют вибрацию в определенных частотных полосах с определенным соотношением величин параметров. Производя разбиение частотного диапазона измерений на сравнительно узкие, возможно перекрывающиеся, частотные полосы и применяя индивидуальные для каждой полосы допустимые значения и критерии, можно распознавать появление ряда зарождающихся дефектов.

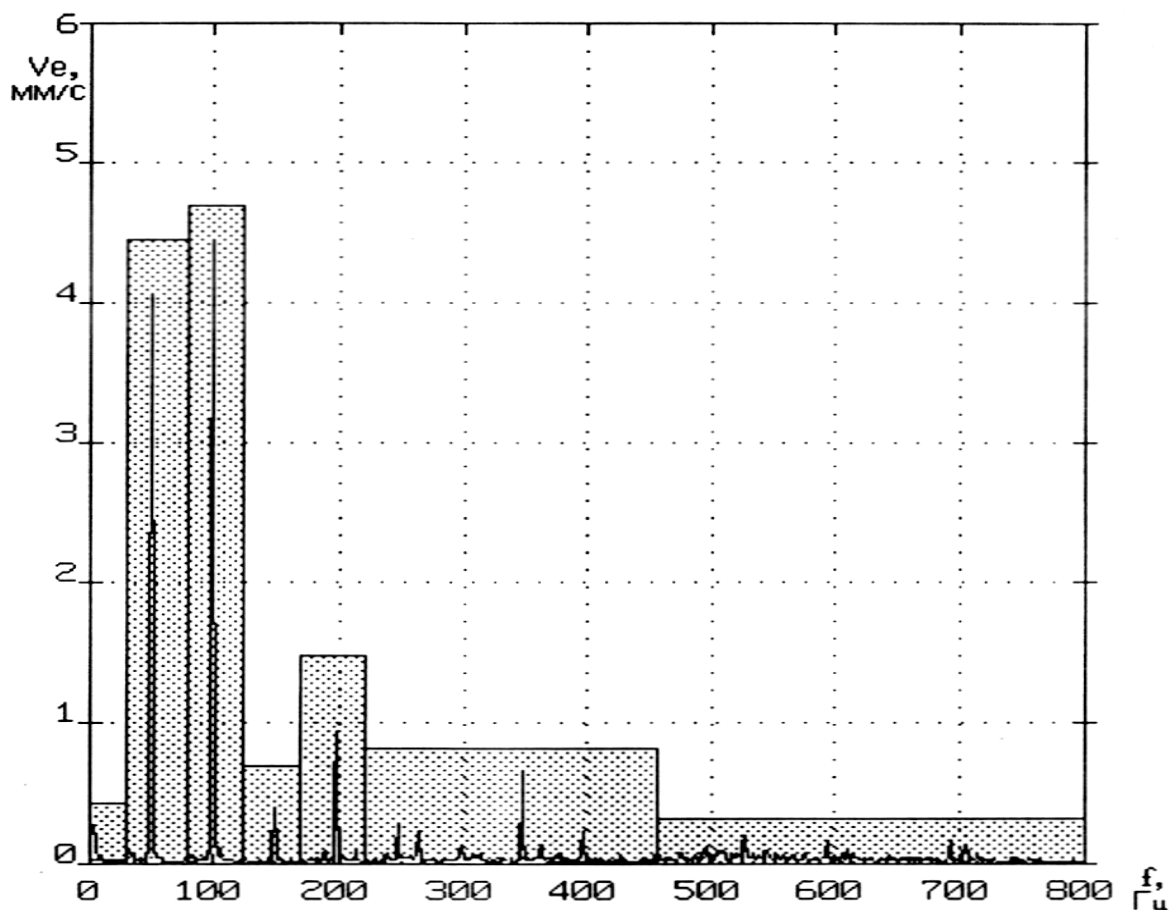


Рис. 1. Спектр виброскорости, разделенный на 7 частотных полос с индивидуальными допустимыми значениями

Индивидуальные допустимые значения в частотных полосах могут быть установлены как для «высокоэнергетических» составляющих колебательного процесса, сопровождающих дисбаланс или расцентровку - обычно диапазоны $(0,5...1,5)f_r$ и $(1,5...2,5)f_r$, так и для сравнительно «низкоэнергетических» составляющих колебательного процесса, сопровождающих дефекты подшипника качения - обычно диапазон $(7,5...15,5)f_r$. Другие частотные полосы могут быть размещены в диапазонах:

- $(2,5...10,5)f_r$ - для предупреждения о нарушениях жесткости;
- $(0,1...0,9)f_r$ - для обнаружения дефектов масляного клина подшипников

скольжения;

- $(z \pm 1)f_r$ – для распознавания дефектов зубчатых муфт и зубчатых передач и т.д.

В общем случае, распознавание состояния по значению параметров вибрации в различных частотных полосах (по спектральным маскам) является наиболее точным и надежным среди других, поскольку обладает рядом достоинств метода эталонных спектров и лишен некоторых его недостатков.

При определении «нормального» состояния оборудования возможно использование двух методов:

- исходного состояния - когда в качестве критериев «нормального» состояния принимаются данные замеров контролируемых параметров на новом (только что смонтированном) оборудовании или после его капитального ремонта, в обоих случаях, разумеется, после обкатки и приработки;

- средненормального состояния - когда в качестве критериев «нормального» состояния принимаются среднестатистические величины контролируемых параметров заведомо работоспособного агрегата, полученные при обработке результатов нескольких периодических измерений (для агрегатов, работающих в стационарном режиме, количество необходимых измерений обычно не менее шести).

Например, нарушение уравновешенности ротора (дисбаланс), центр масс ротора не лежит на оси вращения, неуравновешенная масса, вращаясь вместе с ротором создает гармонические колебания в опоре. Вибрация неуравновешенного ротора проявляется в виде синусоидальных колебаний с частотой вращения ротора. В спектре колебаний при этом присутствует значительный пик на частоте вращения ротора. Причины дисбаланса:

- дефекты изготовления, транспортировки, хранения ротора: неравномерная структура материала; погрешности изготовления (отклонения в размерах и форме); неконцентричность цапф и щелевых уплотнений на колесе относительно ротора; несимметрия расположения элементов колес, отверстий и шпонок; прогиб вала (остаточные деформации, неоднородность поковки вала); несимметрия каналов роторов насосов и их заполнения; радиальные и торцевые биения;

- дефекты сборки или ремонта: дефекты сборки; погрешности сборки; неточность угловой посадки диска; несимметричность посадки ротора относительно подшипника; погрешности посадок сочленяемых деталей (в торцевых гаечных соединениях, перекосы в шпоночных соединениях, отсутствие посадочных натягов); погрешности балансировки; угловое смещение корпуса упорного подшипника;

- дефекты эксплуатации: износ трущихся частей, эрозия, коррозия; неравномерный износ; ослабление посадки деталей на валах; изгиб вала; излом, повреждение частей ротора; загрязнения, отложения; неуравновешенности, связанные с переносом рабочего тела из-за неполного (несимметричного) заполнения полостей (в насосах); неуравновешенности, образующиеся за счет искривления оси из-за возможной тепловой несимметрии, вследствие влияния

местного повышения температур, или неравномерного охлаждения его по сечению, вызванного засорением вентиляционных каналов ротора; термическая нестабильность дисбаланса ротора - изменение дисбаланса ротора вследствие изменения по длине его температуры с течением времени.

Диагностические признаки дисбаланса:

- траектория движения ротора: в большинстве случаев имеет форму эллипса, что связано с различной жесткостью подшипника в вертикальном и горизонтально-поперечном направлениях;

- направления колебаний: вибрация может проявляться как в поперечном, так и осевом направлениях, однако, из-за различной жесткости подшипника, обычно, горизонтально- поперечная вибрация выше вертикальной;

- характерные частоты: наиболее выражены колебания на оборотной частоте ротора, возможны колебания с частотами, кратными числу оборотов.

- спектр: пик на основной оборотной частоте, незначительные уровни 2, 3 и более высоких гармоник основной оборотной частоты.

Динамика развития дефекта: проявляется сразу, после запуска агрегата, дефекты эксплуатации; различные виды износа поверхностей ротора (например, трущихся и рабочих - шеек вала, лопастей колес), отложения в процессе работы, уменьшение натяга (нарушение посадок) деталей вала в большинстве случаев характеризуется сравнительно медленными (в течение часов, дней, месяцев и более) изменениями амплитуды и/или фазы вибрации.

Проявление дефекта при изменении режимов работы: при механическом дисбалансе параметры вибрации зависят от частоты вращения ротора и практически не зависят от режима работы агрегата, внешних условий работы агрегата и температуры.

Амплитуда вибрации при дисбалансе увеличивается пропорционально квадрату числа оборотов ротора.

При явной неуравновешенности размах вибраций достигает недопустимых значений на холостом ходу. При скрытой неуравновешенности вибрация возникает под нагрузкой.

Устранение дефекта обеспечивается путем балансировки ротора и устранения дефектов, вызвавших дисбаланс.

Статический дисбаланс может быть исправлен размещением только одного балансировочного груза в одной плоскости с центром тяжести ротора. Устранение моментного дисбаланса требует размещение балансировочных масс в двух плоскостях.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

2. Абрамов И.Л. Вибродиагностика энергетического оборудования: учеб. пособие/ И.Л. Абрамов. – Кемерово: ИУУ СО РАН, 2010. – 80 с.