

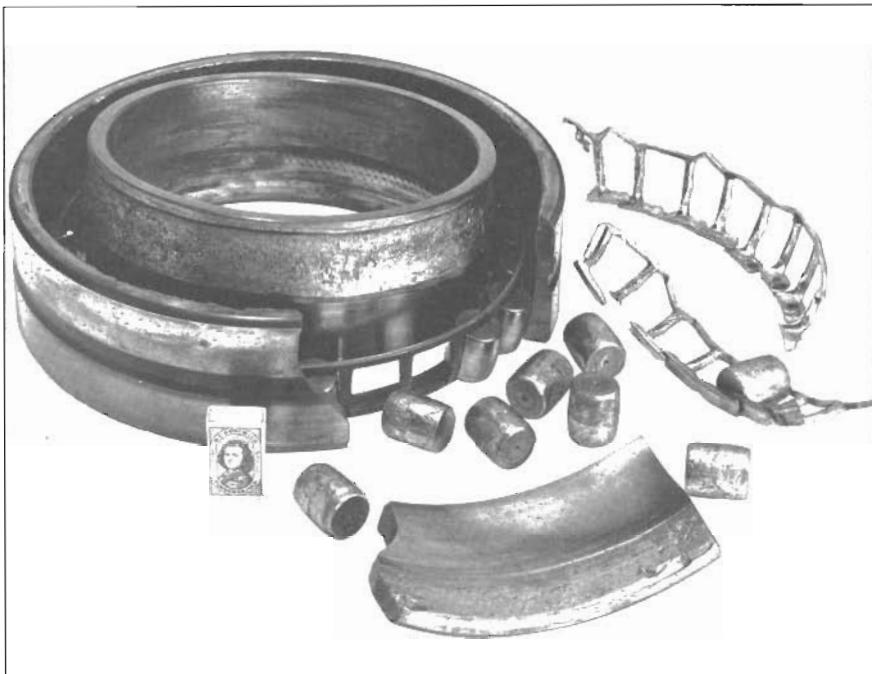
Примеры применения

Выявление неисправностей подшипников качения

Неисправность подшипников качения может быть выявлена до их выхода из строя.

Самым простым методом выявления неисправностей является проведение на корпусе подшипника регулярных измерений общего уровня механических колебаний. Аналогичным, но значительно более эффективным методом является измерение пик-фактора механических колебаний. Однако, предупреждение на самой ранней стадии может быть получено путем регулярного сравнения содержащих полосы с постоянной относительной (процентной) шириной спектров механических колебаний. Неисправности подшипников проявляются в этих спектрах в виде роста амплитуд составляющих с высокими частотами.

Чем более известно о неисправности, тем больше уверенность, с которой можно предсказать выход из строя. Дополнительная информация о неисправности может быть получена при использовании одного или нескольких следующих методов диагностики: анализ с увеличением масштаба частоты, определение кепстров, анализ огибающей.



Неожиданная поломка подшипника качения может привести к травмам людей, повреждению оборудования или производственным потерям. Неисправность подшипников качения может быть выявлена задолго до поломки путем мониторизации механических колебаний

Подшипники качения

Подшипники качения служат в качестве опор и фиксируют положение валов в машине. В понятие подшипников «качения» входят как шариковые, так и роликовые подшипники. В подшипниках качения используется вращательное движение, а в подшипниках скольжения - скольжение поверхности.

Причины возникновения неисправностей

Неисправности подшипников качения происходят по следующим причинам: неправильная сборка, нагрузка, эксплуатация или смазка и/или слишком жесткие окружающие условия. Однако, даже при идеальном изготовлении, сборке и т.п. неисправности могут происходить также вследствие усталости материалов.

Развитие неисправности

Чаще всего неисправности подшипников качения возникают вследствие увеличения неровностей обойм или вращающихся элементов. Со временем неровности расширяются и, если подшипники служат достаточно долго, износ может стать более равномерным.

Механические колебания подшипников

Механические колебания, создаваемые исправным, новым подшипником, имеют низкий уровень и выглядят как случайный шум.

При развитии неисправности создаваемые подшипником механические колебания начинают изменяться: каждый раз, когда вращающийся элемент встречается с неровностью, со-

зается механический импульс. Результирующие импульсы периодически повторяются с частотой, определяемой расположением неровности и геометрией подшипника. Эта частота повторения получила название частоты подшипника. Имеются следующие частоты подшипников: частота прохода шарика или ролика по внешней обойме (BPFO), указывающая на неисправность внешней обоймы, частота прохода шарика или ролика по внутренней обойме (BPFI), указывающая на неисправность внутренней обоймы, частота вращения шарика или ролика (BSF), указывающая на повреждение вращающегося элемента, и основная частота (FTF), указывающая на повреждение сепаратора подшипника. Частоты подшипников могут быть рассчитаны по геометрии подшипника с помощью формул, приведенных на рис. 1. Однако, следует иметь в виду, что эти соотношения справедливы только в случае чисто вращательного движения, хотя

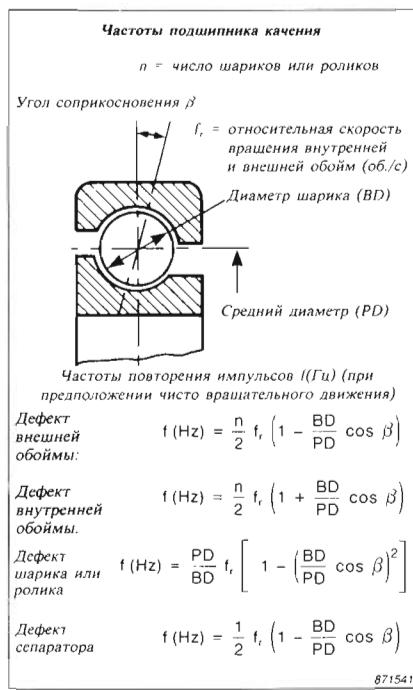


Рис. 1. Формулы для расчета частот подшипника

в действительности имеет место также скольжение. Поэтому эти соотношения следует рассматривать как приблизительные.

К сожалению составляющие частотных спектров механических колебаний подшипников качения, связанные с частотами подшипников, обычно закрыты такими составляющими с высокими уровнями, как например, составляющие, обусловленные дисбалансом ротора.

Однако, как видно из рис. 2, на котором приведен спектр механических колебаний двигателя за шесть недель до выхода из строя подшипника качения, увеличения амплитуд механических колебаний в двух полосах в области высоких частот можно легко различить. Опыт показывает, что подобные увеличения в области высоких частот указывают на неисправ-

ность подшипника качения. Можно задать вопрос, почему?

Рассмотрим следующую ситуацию. Удар при встрече вращающимся элементом неровности аналогичен звуку, возникающему при ударе молотком по колоколу. Механическая система, состоящая из подшипника, его корпуса и корпуса машины, реагирует подобно колоколу, который звучит (т.е. резонирует) в результате удара молотком. Звучание или резонанс является свойством конструкции и не зависит от того, как часто или как сильно делается удар. Резонансы подобных конструкций обычно находятся между 1 и 20 Гц и подобно резонансам колокола сконцентрированы не при каких-то отдельных частотах, а в частотных полосах (см. рис. 2). Таким образом, дефекты подшипников качения проявляются в частотных спектрах механических колебаний в виде увеличений амплитуд в одной или нескольких частотных полосах в диапазоне от 1 до 20 Гц.

Путем построения графиков зависимости результатов измерений от времени может быть прослежена тенденция развития механических колебаний с экстраполяцией для предсказания того момента, когда подшипник необходимо заменить. Однако, вследствие того, что общий уровень механических колебаний подшипников качения часто увеличивается только на заключительной стадии развития неисправности, этот метод дает позднее предупреждение о неисправности.

Преимущества данного метода:

- быстрота
- простота
- низкие капитальные затраты
- результат в виде одиночного значения

Недостатки данного метода:

- возможность выявления небольшого количества дефектов
- позднее предупреждение о неисправности

Пик-фактор

Более раннее предупреждение о неисправности можно получить с помощью той же аппаратуры, что используется для измерения общего уровня механических колебаний, путем регулярного измерения **пик-фактора** механических колебаний подшипника (рис. 3). Пик-фактор представляет собой отношение пикового значения к СКЗ механических колебаний. Наилучшие результаты получаются при измерениях ускорения в диапазоне высоких частот (например, от 1000 до 10000 Гц).

Показанные на рис. 3 кривые представляют собой пример тенденции изменений пик-фактора при ухудшении состояния подшипника. В начальный период отношение пикового значения и СКЗ остается относительно постоянным. При развитии местного дефекта короткие серии импульсов приводят к значительному увеличению пиковых значений, но оказы-

Выявление неисправного подшипника

Общий уровень механических колебаний

Самым простым методом является проведение регулярных измерений среднего квадратического значения (СКЗ) общего уровня механических колебаний корпуса подшипника. По этому методу измеряются уровни механических колебаний в широком частотном диапазоне. Самые лучшие результаты дают измерения ускорения в диапазоне высоких частот (например, от 1000 до 10000 Гц). Такие измерения могут быть проведены с помощью акселерометра и портативного виброметра, снабженного соответствующим фильтром. Результаты этих измерений сравниваются с общими стандартными данными или с опорными значениями, полученны-

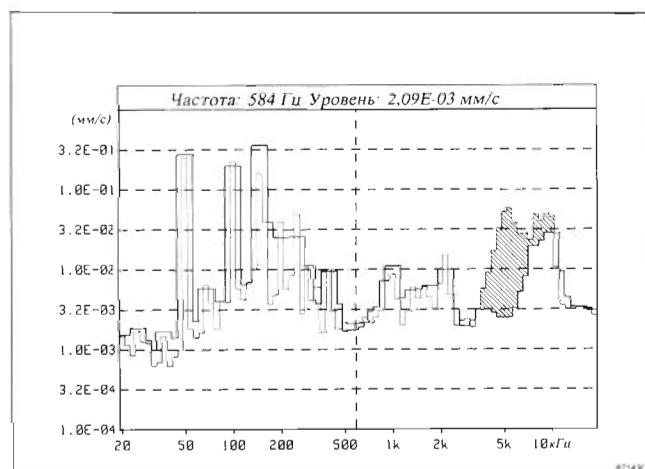


Рис. 2. Опорный спектр (толстая линия) соответствует «хорошему состоянию», с которым сравнивается присущий «текущему состоянию» спектр (тонкая линия). Значительное увеличение уровней в полосе высоких частот (заштрихованная область) указывает на повреждение подшипника качения

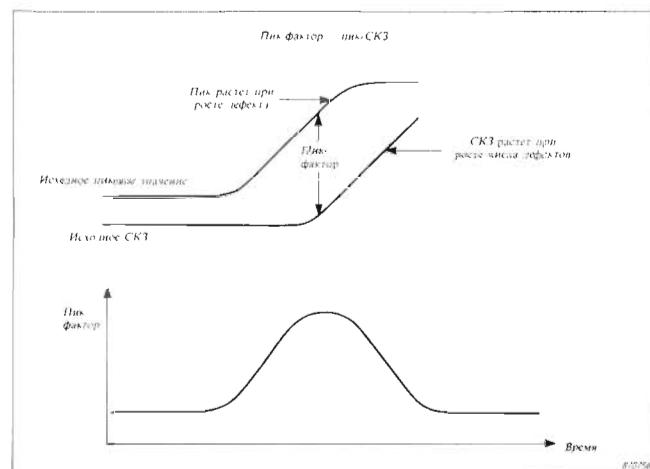


Рис. 3. Иллюстрация пик-фактора и его применения

вают небольшое влияние на СКЗ. Уровень пиков обычно увеличивается до некоторого предела. При ухудшении состояния подшипника при каждом проходе вращающихся элементов будет создаваться все большее количество пиков, что в конечном итоге оказывает влияние на общее СКЗ даже в том случае, если уровни отдельных пиков не будут увеличиваться. К концу срока службы подшипника пик-фактор может уменьшиться до первоначального значения даже в том случае, если пиковые значения и СКЗ значительно увеличились. Наилучший метод получения тенденции развития представлен на рис. 3. СКЗ и пиковые значения построены на одном графике с пик-фактором.

Преимущества данного метода:

- быстрота
- простота
- низкие капитальные затраты

Недостатки данного метода:

- возможность наложения сигналов

- от других источников механических колебаний
- выявление не такого широкого диапазона неисправностей, как метод сравнения спектров механических колебаний

Спектры с полосами с постоянной относительной шириной

Метод, который позволяет выявлять другие типы неисправностей машины, такие как дисбаланс, несоосность, ослабление креплений и т.п., основан на сравнении спектров с полосами с постоянной относительной (процентной) шириной (см. рис. 2). Постоянная процентная ширина (8% на рис. 2) спектра по оси частоты означает, что имеется частотный диапазон с шириной, достаточной для выявления неисправностей подшипников качения, и с разрешением, также достаточным для выявления других неисправностей.

Общий уровень механических колебаний в значительной степени определяется уровнем максимального пика

спектра механических колебаний. Таким образом, общий уровень механических колебаний увеличивается только после того, как возрастающая составляющая становится максимальным пиком в спектре (см. рис. 4). С другой стороны, сравнение спектров с полосами с постоянной относительной шириной дает более раннее предупреждение о неисправности, чем метод мониторизации общего уровня механических колебаний.

Преимущества данного метода:

- выявление широкого диапазона неисправностей
- предоставление информации, которая может быть использована для диагностики неисправностей
- идентичная аппаратура может быть обычно использована для последующей диагностики неисправностей

Недостатки данного метода:

- более высокие капитальные затраты

Получение дополнительной информации о неисправности

С помощью всех описанных выше методов может быть проведено предсказание того момента времени, когда необходимо провести техническое обслуживание машины. Дополнительная информация о неисправности может быть получена с помощью следующих диагностических методов: **анализ с увеличением масштаба частоты, определение кепстров и анализ огибающей.**

Анализ с увеличением масштаба частоты

Увеличение масштаба частоты в определенном участке спектра позволяет значительно увеличить разрешение по частоте, с которым проводится индикация соответствующего участка

спектра. Увеличение масштаба частоты при анализе также способствует уменьшению порога собственного шума, что обеспечивает более четкую индикацию составляющих с низкими уровнями.

При анализе с увеличением масштаба частоты в области частот зубозаделения редуктора могут быть выявлены боковые полосы, расстояние между которыми соответствует частоте вращения одного или нескольких валов редуктора. Увеличение числа или уровня этих боковых полос может указывать на неисправность подшипника соответствующего вала, на несоосность вала или на ухудшение состояния шестерни.

Иногда благодаря анализу с увеличением масштаба частоты могут быть получены гармоники частот подшипника (см. рис. 5). Рост амплитуд соответствующих составляющих может указывать на неисправность подшипников качения. Но обычно эти составляющие «размазаны» вследствие небольших изменений рабочей частоты вращения подшипника или они закрыты составляющими с высокими уровнями.

Определение кепстров

Как было сказано выше, неисправность подшипника, шестерни или несоосность вала в редукторе могут проявляться в виде увеличения количества или уровня боковых полос в

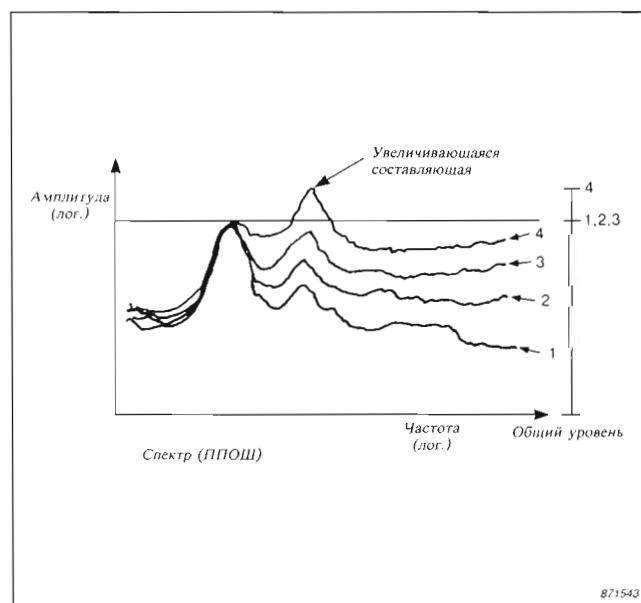


Рис.4. Сравнение спектров с полосами с постоянной относительной шириной гарантирует получение предупреждения на более ранней стадии, чем при мониторизации общего уровня механических колебаний

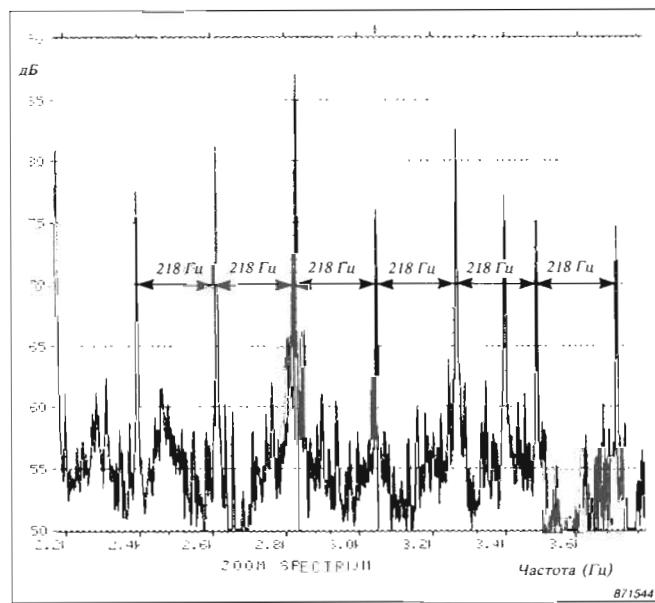


Рис.5. Спектр, полученный в результате анализа с увеличением масштаба частоты, содержит гармоники, соответствующие частоте прохода вращающегося элемента по внешней обойме (BPFO)

районе составляющих, частоты которых соответствует частотам зубозцепления. При определении кепстра выявляется семейство боковых полос и гармоник в спектре и устанавливается их относительное значение (см. рис. 6). Чем больше число или выше средний уровень семейства боковых полос или гармоник, тем больше соответствующий пик кепстра. Кепстры относительно нечувствительны к изменениям нагрузки машин и поэтому могут быть использованы при анализе тенденций. Кепстры механических колебаний в различных точках на одном и том же редукторе подобны друг другу, т.е. кепстры относительно нечувствительны к изменениям пути передачи механических колебаний (пути между вибродатчиком и источником механических колебаний).

Анализ огибающей

В результате анализа огибающей отображающего механические колебания машины сигнала могут быть выделены периодические импульсы, возникающие вследствие ухудшения состояния подшипников качения. Эта возможность сохранена и в случае, если энергия импульсов невелика и

последние маскированы сигналами других механических колебаний машины. В спектрах огибающей (см. пример на рис. 7) регулярные импульсы в подшипнике проявляются в виде пика (возможно, с некоторыми гармониками) при частоте подшипника (см. рис. 1), соответствующей месту нахождения неисправности. Таким образом, анализ огибающей способствует отделению периодических импульсов, возникающих вследствие неисправности подшипников качения, от случайных ударов из-за других причин, например, кавитации в насосе.

Более подробная информация приведена в специальной брошюре фирмы Брюль и Къер, обозначенной ВО0187 и названной «Анализ огибающей - ключ к диагностике подшипников качения».

Уникальные акселерометры марки Delta Shear® почти нечувствительны к влияниям окружающих условий, что в противном случае могло бы приводить к искажениям сигналов механических колебаний. Виброанализатор 2515 может работать в очень жестких условиях. С помощью прибора 2515 можно проводить сравнение спектров механических колебаний с целью проверки состояния машинного оборудования, а при обнаружении значительных увеличений составляющих этих спектров могут быть использованы описанные выше методы* для выявления причины и определения локализации источника. При анализе тенденций с помощью пакета прикладных программ 7616 для мониторизации состояния машинного оборудования можно заблаговременно спланировать проведение технического обслуживания.

Аппаратура фирмы Брюль и Къер

Фирма Брюль и Къер выпускает полный диапазон аппаратуры для мониторизации механических колебаний.

* Для анализа огибающей необходима модификация виброанализатора 2515, заключающаяся в установке блока WH1936 и детектора огибающей WB1048.

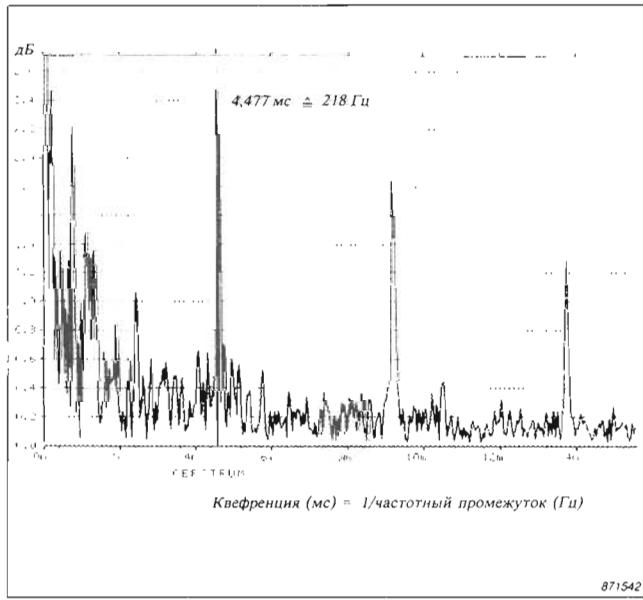


Рис. 6. Семейство гармоник в спектре на рис. 5 проявляется в соответствующем кепстре как четкий пик, координата которого соответствует промежутку между гармониками

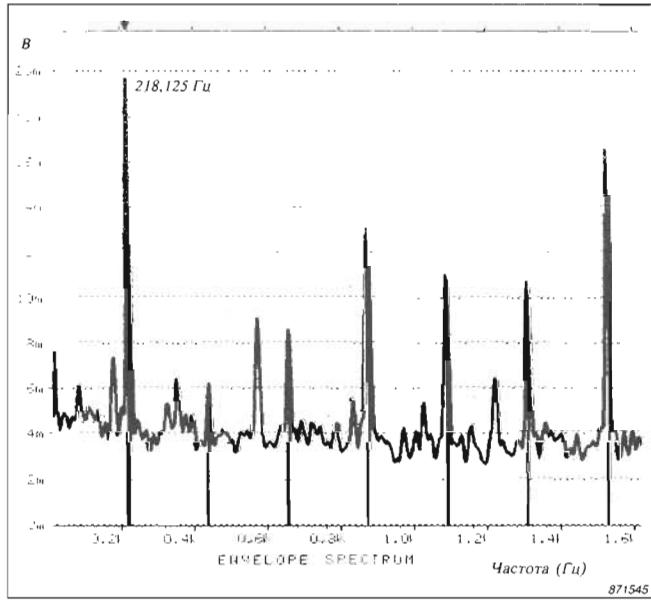


Рис. 7. Спектр огибающей, соответствующий рис. 5 и 6, показывает серию гармоник частоты BPFO

Брюль и Къер



Московский центр фирмы Брюль и Къер

Ленинградский проспект, 63 · 117917 Москва · Телефон: 135-86-16 · Телекс: 41 1637 nafta su · Телефакс: 135-85-96

Запросы на каталоги, проспекты и инструкции по эксплуатации на русском языке просим направлять по адресу:
Москва, К-31, Кузнецкий мост 12, Отдел промышленных каталогов ГПНТБ СССР, тел.: 220-78-51