

## Огибаящая: ВЫСОКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ДЕФЕКТАМ И ИХ РАННЕЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

Натан Веллер (Компания GE Bently Nevada)

Рассмотрен метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала применительно к ранней диагностике подшипников качения и редукторов. Показано, что огибающая помогает выявлять дефекты оборудования на самых ранних стадиях их развития. Представлен спектр продукции компании Bently Nevada, позволяющий реализовать этот метод на практике.

Ключевые слова: диагностика состояния оборудования, спектр огибающей вибросигнала, ранняя диагностика.

Метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала используется, главным образом, для ранней диагностики подшипников качения и редукторов. Спектр огибающей является важным параметром, используемым для оценки состояния машины. Он помогает выявлять дефекты оборудования на самых ранних стадиях их развития — до того момента, когда они будут выявлены другими методами диагностики. Без ранней диагностики дефектов при помощи спектров огибающей вибросигнала персонал сможет обнаружить увеличение общего уровня вибрации, загрязнение масла и, как следствие, рост температуры подшипника лишь тогда, когда дефект уже будет сильно развит. Все это существенно сокращает «жизненный цикл» неисправных элементов машины и увеличивает степень повреждения оборудования.

Огибающая позволяет выявлять и анализировать низкочастотные, повторяющиеся вибросигналы, выделяя их из общего уровня вибрации машины. Таким образом, она позволяет заблаговременно обнаруживать развивающиеся дефекты элементов или деталей машин при контакте металл-металл. На практике метод огибающей применяется для диагностики подшипников качения, редукторов и электродвигателей. Отметим, что для успешного применения метода и анализа спектра огибающей вибросигнала необходим опыт. Огибающая — это один из инструментов специалиста по анализу вибрации, и лучше всего использовать его совместно с другими методами диагностики и мониторинга оборудования [1].

Метод диагностики при помощи спектров огибаю-

щей вибросигнала состоит из нескольких этапов; он предполагает выделение интересующих виброимпульсов из общего уровня вибрации (рис. 1). Взаимодействие элементов подшипника качения друг с другом и с дефектами приводит к возникновению структурного резонанса в опоре подшипника. Сейсмодатчик измеряет вибрацию, далее этот сигнал отфильтровывается полосовым фильтром, и в результате в вибросигнале остаются только компоненты в диапазоне частот резонанса элементов подшипника. Отфильтрованный сигнал выпрямляется, из него извлекается огибающая, при этом удаляются частоты резонанса элементов подшипника и остаются только частоты ударных импульсов дефектов подшипника. Затем фильтр высоких частот удаляет из сигнала высокочастотные компоненты и вычисляется спектр. Частотные компоненты зависят от физических параметров подшипника, а тренд спектра вибрации показывает развитие дефектов.

Анализ огибающей необходимо начинать с поиска источника вибрации. При взаимодействии элементов подшипника друг с другом и с дефектом возникают ударные импульсы, которые передаются на корпус

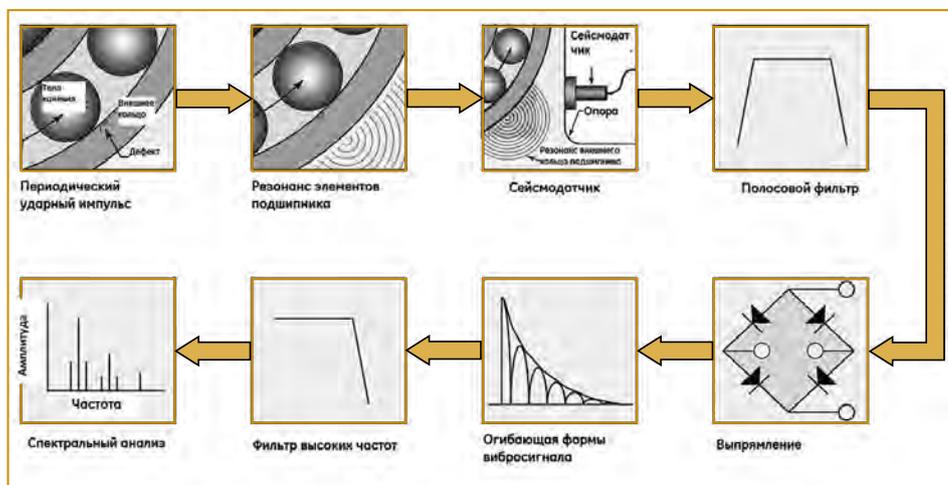


Рис. 1

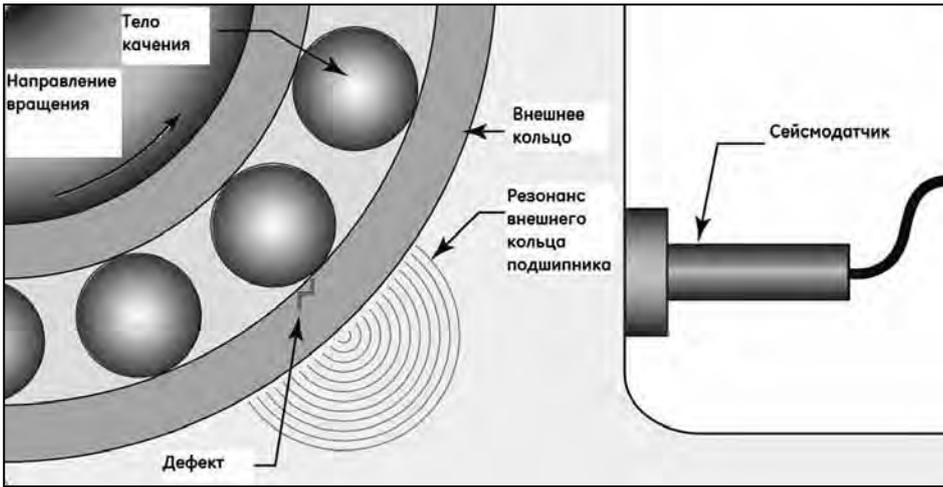


Рис. 2

машины и вызывают вибрацию. Ударные импульсы возбуждают колебания на частотах собственного резонанса структурных элементов подшипника, вызывая так называемый «звон» (рис. 2). Амплитуда данного «звона» постепенно затухает до следующего удара, который заново возбуждает резонанс. Таким образом, амплитуда дефекта модулирует отклик собственного резонанса на частоте ударных импульсов. Ударные импульсы дефекта становятся частью общего уровня вибрации.

Поскольку эти ударные импульсы имеют высокую частоту, то для измерения вибросигнала для огибающей обычно используются акселерометры [2]. Поэтому часто огибающую называют еще огибающей по виброускорению или огибающей высокочастотного виброускорения. Высокочастотные вибросигналы, такие как несущая частота сигнала дефекта, плохо передаются через однородный материал корпуса машины; дефекты металла, болтовые и сварные соединения вызывают существенное затухание вибросигнала (рис. 3). Необходимо выбирать кратчайший путь от места замера вибрации до ее источника, чтобы этот слабый высокочастотный сигнал дошел до акселерометра без изменений. Акселерометр следует смонтировать как можно ближе к подшипнику и рядом с «несущей», нагруженной зоной подшипника, в которой ударные импульсы будут лучше передаваться через корпус машины к датчику.

Выходной сигнал акселерометра (рис. 4) содержит три основные частоты: вибрацию ротора с относительно низкой частотой и высокой амплитудой, модулированную частоту резонанса элементов подшипника, а также другие компоненты высокочастотной вибрации, включая гармоники частот резонанса элементов подшипника. Несмотря на то, что вибросигнал имеет сложную

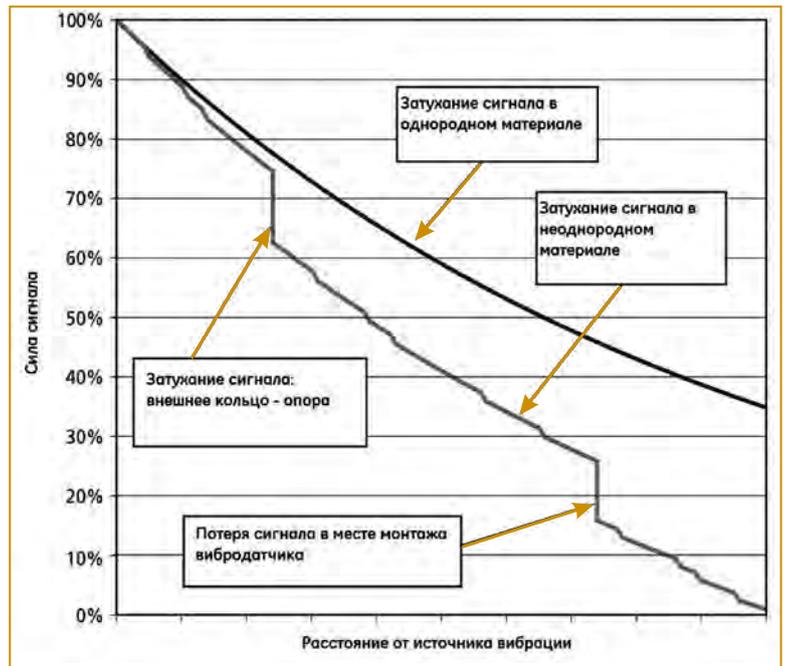


Рис. 3

форму, по спектру огибающей можно определить частоту ударных импульсов дефекта, которая предоставляет специалисту по вибронализу важную информацию о техническом состоянии машины.

**Использование метода огибающей: основные аспекты**

Несмотря на то, что метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала может показаться простым и понятным, точность результатов зависит от корректности применения этого метода.

При использовании метода огибающей пользователю следует учесть следующие восемь аспектов.

1. *Ранняя диагностика.* Огибающая обеспечивает раннее обнаружение дефектов, которые могли бы быть скрыты «фоновой» вибрацией машины. Если спектр огибающей помог выявить дефект, то это еще не означает, что поломка неизбежна. Тем не менее, для отслеживания развития этого дефекта необходимо увеличить частоту мониторинга вибрации этого элемента машины. Дефекты не будут выявлены до тех пор, пока они не разовьются до такой степени, что их взаимодействие с другими компонентами станет повторяющимся, а не произвольным. Необходимо всегда проводить сравнение с данными, полученными другими доступными методами измерений.

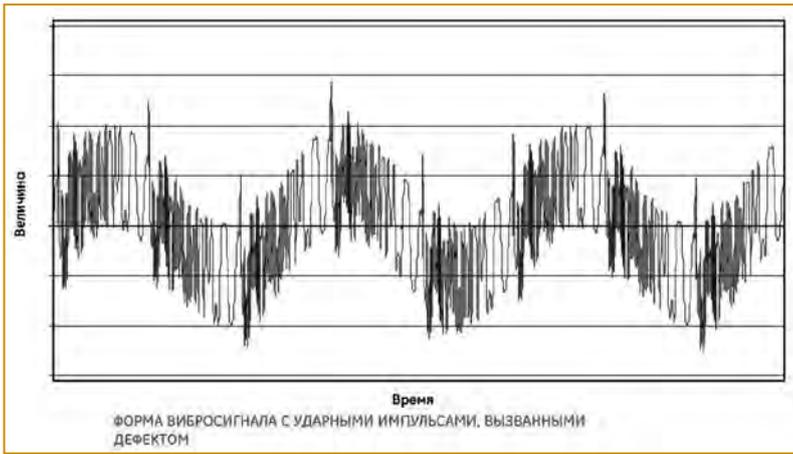


Рис. 4

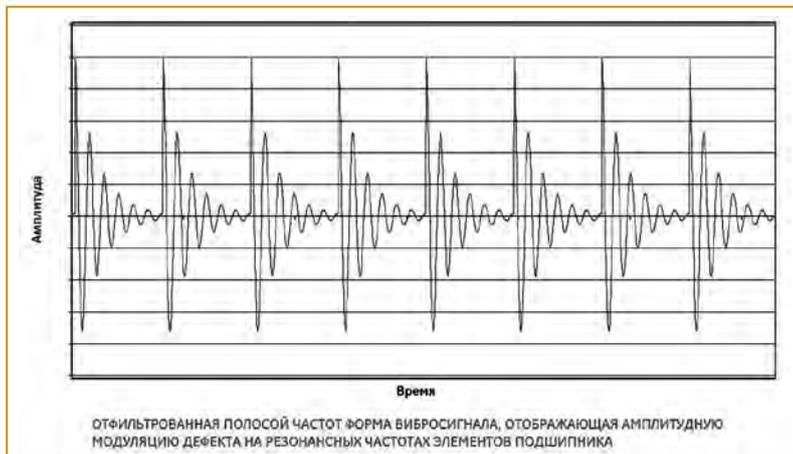


Рис. 5

**2. Диагностируемое оборудование.** Метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала может применяться для выявления дефектов таких элементов машины, в которых происходит повторяющееся соприкосновение металлических деталей. Однако, так как огибающая не является непосредственным (прямым) замером, спектр огибающей вибросигнала может усиливаться или ослабляться за счет воздействия многих посторонних факторов. Некоторые детали или характеристики машины могут повлиять на огибающую вибросигнала. Сочленения, соединения, сальники и демпферы с масляной пленкой под давлением и без него затрудняют передачу высокочастотных вибросигналов. Высокочастотные помехи скрывают ударные импульсы в поршневых машинах, электродвигателях переменной частоты и других агрегатах. Помимо этого, электромагнитные помехи в кабеле между вибродатчиком и устройством обработки сигналов могут влиять на целостность вибросигналов.

**3. Выбор вибродатчика.** Амплитудно-частотная характеристика вибродатчика должна иметь необходимый рабочий диапазон, который включал бы резонансные частоты деталей и элементов машины (в диапазоне 1...40 кГц и более). Собственная резо-

нансная частота используемого вибродатчика должна существенно отличаться от представляющих интерес частот (частот ударных импульсов) машины, чтобы избежать их наложения. Вибродатчик должен обладать максимальной степенью надежности для обеспечения повторяемости измерений.

**4. Монтаж вибродатчика.** Диагностика при помощи спектров огибающей вибросигнала во многом зависит от метода и места монтажа вибродатчика. Даже самое незначительное изменение места монтажа вибродатчика может привести к изменению результатов измерений. Поэтому для уверенности в том, что изменения показаний вызваны именно изменениями состояния машины, а не действиями специалиста по анализу вибрации, необходимо надежно закрепить вибродатчик на объекте измерения. Вибродатчик должен быть закреплен на плоской, чистой (голый металл) поверхности. При использовании датчиков с ручными щупами показания вибрации будут особенно подвержены вариации из-за силы прижатия вибродатчика к объекту измерения, угла его установки и от других факторов, индивидуально зависящих от человека, снимающего показания. Учитывая это, специалист по виброанализу должен быть очень внимательным, используя датчики с ручными щупами для диагностики дефекта

по спектру огибающей. Вибродатчик необходимо закреплять таким образом, чтобы максимально снизить нестабильность показаний, например, прикрепить его к поверхности измерения при помощи монтажной шпильки или магнита, который обеспечит его равномерное прижатие к объекту с одинаковой силой и под одинаковым углом (перпендикулярно поверхности измерения) при выполнении каждого измерения. Поскольку высокочастотные сигналы, которые используются при преобразовании в спектр огибающей, обычно плохо передаются через детали и элементы машины, вибродатчик нужно расположить таким образом, чтобы между ним и диагностируемым элементом машины было минимальное расстояние. Это обеспечит минимально возможное затухание высокочастотного сигнала. Любые неплотные соприкосновения или потеря контакта вибродатчика с металлическими частями машины приводят к существенному затуханию сигнала. Передачу сигнала может полностью прервать масляная пленка, появляющаяся в любом месте соприкосновения металлических частей. Таким образом, дефекты, выявляемые при помощи спектров огибающей вибросигнала, всегда находятся рядом с вибродатчиком.

5. *Выявление дефектов.* Благодаря корреляции основных частот спектра и источников дефектов, неисправные компоненты машины, как правило, могут быть идентифицированы до разбора и осмотра подшипника. Это позволяет ремонтному персоналу заранее заказывать необходимые запасные части и планировать работы с учетом соблюдения технологии производства. Для получения точных данных при использовании метода огибающей необходимо принимать во внимание как частоты вибрации деталей и элементов машины, так и ее собственные частоты. Недостаточное или чрезмерное количество смазки или ее загрязнение может вызвать появление дополнительных частотных компонентов в спектре огибающей вибросигнала. Поэтому при появлении дефектов в первую очередь необходимо проверить состояние смазки. Развитие дефектов обычно сопровождается увеличением числа частотных компонентов подшипника и общим увеличением уровня спектра огибающей вибросигнала. Таким образом, основные частоты дефектов в спектре вибросигнала являются самым важным фактором, обеспечивающим корреляцию спектра с физическими дефектами оборудования.

6. *Прогнозирование степени серьезности дефекта.* Метод диагностики при помощи спектра огибающей вибросигнала предоставляет пользователям ценную информацию о техническом состоянии оборудования. Тем не менее, сам по себе метод огибающей не может предоставить всей информации для надежного и точного прогнозирования состояния элементов машины (например, подшипника или редуктора). В спектре огибающей частота коррелируется с определенным компонентом машины, но при этом рост амплитуды необязательно будет коррелироваться с развитием какого-то дефекта. Известно, что амплитуда огибающей по виброускорению снижается по мере увеличения дефекта подшипника. По мере износа подшипника его микроскопические дефекты, вызывающие вибрацию, начинают сглаживаться, и резонанс, вызванный дефектом (и обнаруживаемый при помощи огибающей), уменьшается. Анализ спектров огибающей вибросигнала, используемый совместно с другими измерениями (общий уровень вибрации, акустические уровни шума и температура), позволяет более точно диагностировать состояние машины.

7. *Постоянство сбора данных.* Для обеспечения целостности тренда необходимо периодически и непрерывно осуществлять сбор данных. Как уже было упомянуто в пункте 4, это подразумевает использование одного и того же датчика, смонтированного в одном и том же месте, одним и тем же способом. Это необходимо, чтобы избежать серьезных и систематических ошибок при измерении вибрации. В этом случае тренд можно использовать для наблюдения за развитием дефектов. Рекомендуется использовать постоянно закрепленные вибродатчики.

8. *Колебания частоты.* Абсолютная частота сигнала спектра огибающей напрямую зависит от скорости вращения вала. Для обеспечения корреляции частот

с вероятными дефектами необходимо знать скорость вращения машины, при этом на протяжении всего замера она должна быть постоянной. В противном случае на амплитуду частотных компонентов будет влиять работа машины (которая зависит от частоты) и отклики виброизмерительной аппаратуры, а не изменение степени серьезности дефектов.

#### Фильтрация

Первым этапом обработки сигнала при использовании метода диагностики по спектрам огибающей является обработка вибросигнала с помощью полосового фильтра. Правильная настройка фильтра обеспечивает удаление нежелательных частотных составляющих из вибросигнала и предотвращает затухание необходимых при анализе спектров огибающей вибросигнала частот. При выборе диапазона частот необходимо принимать во внимание рабочую скорость вращения машины и ее собственные частоты резонанса, которые частично зависят от конструкции подшипника, машины, а также от места монтажа. Поэтому для получения наиболее точных данных диагностики при первом использовании спектра огибающей часто следует поэкспериментировать с частотами используемых фильтров.

Сначала рекомендуется выявить в спектре вибросигнала «скопление» высокочастотных амплитудных пиков, относящихся к резонансу элементов подшипника. Нижняя граница фильтра (фильтр пропускания верхних частот) должна быть установлена выше частот зубчатого зацепления, но ниже этого «скопления» пиков, указывающего на резонанс подшипника. Выбор нижней границы фильтра осуществляется таким образом, чтобы отфильтровывались составляющие с высокой амплитудой и низкой частотой (которые вызваны вибрацией машин на частоте вращения). Это значительно улучшает соотношение сигнал-шум на частотах, которые нас интересуют. В вибросигнале именно эти низкочастотные вибрации, как правило, преобладают. Верхняя граница фильтра выбирается таким образом, чтобы отфильтровывались составляющие вибросигнала на максимально высоких частотах, вызванные другими вибрациями агрегата и сигналами, усиленными в акселерометре или в результате резонанса монтажного крепления.

Для машин, оснащенных подшипниками качения, нижняя граница частотного фильтра, как правило, должна быть больше, чем величина 10-кратной рабочей скорости машины (10X), для удаления гармоник, кратных частоте вращения машины. Однако эти частоты не должны превышать половину величины собственных частот подшипника. Эти собственные частоты выступают в роли «несущих» частот и возникают при появлении ударных импульсов дефекта подшипника, поэтому затухание этих вибросигналов затрудняет диагностику дефекта при помощи спектров огибающей [3].

Верхняя граница частотного фильтра, как правило, устанавливается на величину, в 60 раз большую,

чем частота «перекачивания» тел качения по наружному кольцу подшипника (60X ВРФО) или примерно в 200 раз больше, чем рабочая скорость вращения машины (200X). Это приводит к затуханию высокочастотных помех и составляющих вибрации, часть из которых была усилена резонансом акселерометра. Эти правила просты и обязательно должны учитываться специалистом по виброанализу при диагностике подшипников качения. Однако частоты, возникающие в зубчатых зацеплениях редукторов, затрудняют их применение для диагностики редукторов.

Выходной вибросигнал после прохождения через полосовой фильтр (рис. 5) будет отображать резонансную частоту конструктивных элементов машины. Это более высокие частоты в форме волны, модулируемой дефектом. Ударные импульсы, возникающие при появлении в подшипнике дефекта, возбуждают эту «несущую» частоту, амплитуда которой будет затухать в геометрической прогрессии. В вибросигнале дефектного подшипника могут появиться ударные импульсы с различным временным интервалом, амплитудой и дополнительными частотными составляющими. На все это может оказывать влияние смазка, число дефектов, степень их серьезности и нагрузка на подшипник. Несмотря на все это, метод диагностики при помощи спектров огибающей вибросигнала очень эффективен для таких сложных форм вибросигнала.

#### Демодуляция амплитуды вибросигнала

Получению огибающей отфильтрованного вибросигнала (демодулированию) предшествует его двухполупериодное выпрямление (рис. 6), которое удаляет «несущую» частоту и еще больше отделяет частоту ударных импульсов от «несущей» частоты.

Следующий этап — это непосредственно извлечение огибающей. Амплитудная демодуляция выпрямленной формы вибросигнала удаляет несущую частоту и оставляет частоту повторения ударных импульсов дефекта. Для выполнения демодуляции используются следующие методы: детектирование пиковых значений (рис. 7), интегрирование и фильтрация высоких частот.

Как правило, извлечение огибающей позволяет получить форму вибросигнала со спектральными компонентами, соответствующими частотам ударных импульсов и, как следствие, гармоникам частот де-

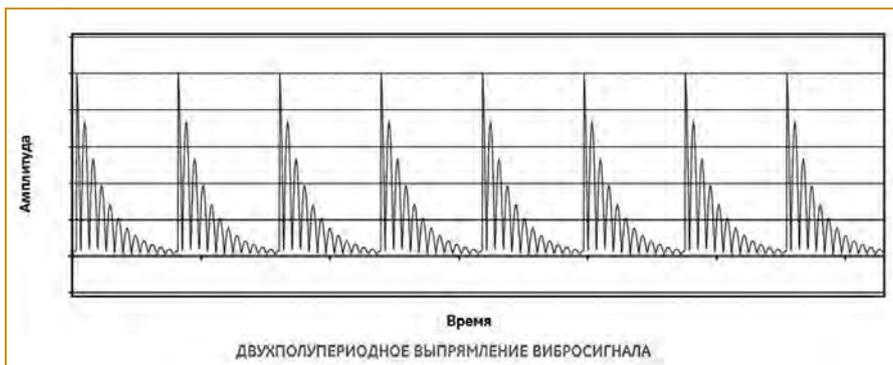


Рис. 6

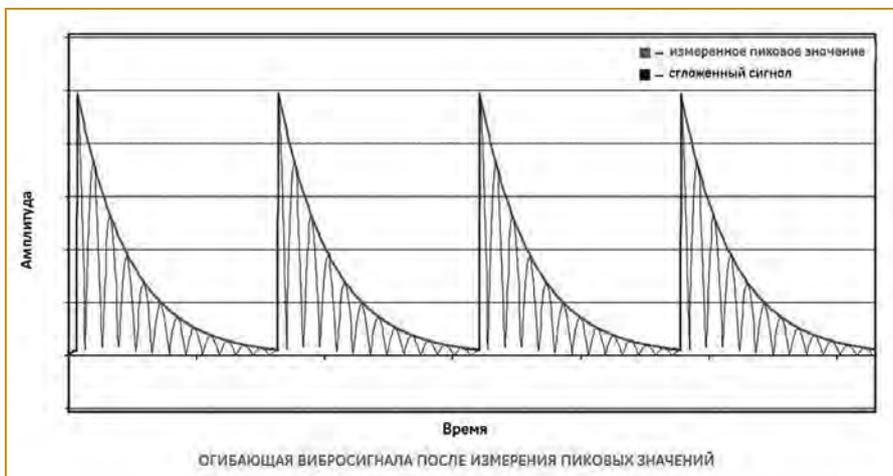


Рис. 7

фекта. Частотные компоненты, не имеющие отношения к ударным импульсам, будут иметь более высокую частоту, чем интересующие нас составляющие. Некоторые из них могут быть убраны при помощи фильтра высоких частот, в результате чего в вибросигнале останутся только частоты ударных импульсов и некоторые гармоники низкого порядка. Интерпретировать такой менее загроможденный спектр будет проще, потому что число частотных составляющих будет меньше.

Перед проведением анализа вибросигнала необходимо получить спектр огибающей. Частота ударных импульсов должна четко отображаться в спектре относительно других спектральных компонент вибросигнала. Гармоники частот дефектов, как правило, являются излишними компонентами метода огибающей и не используются для отслеживания этих неисправностей за исключением тех случаев, когда присутствует большое число гармоник, указывающих на развитие дефекта. Частоты высоких пиков амплитуды, присутствующие в спектре, могут коррелироваться с физическими параметрами машины. По мере развития дефекта рядом с амплитудными пиками на частотах дефектов в спектре могут появляться боковые полосы частот, связанные со скоростью вращения машины.

Появление в спектре нескоррелированных (посторонних) частот может быть вызвано некорректной конфигурацией используемых фильтров или неправильными замерами вибрации при помощи вибродат-

чиков. Колебания на этих частотах могут быть вызваны и другими компонентами агрегата или же возникающими в процессе работы агрегата процессами.

#### Интерпретация полученных данных

Интерпретация полученных данных является очень важным заключительным этапом диагностики при помощи спектров огибающей. Отслеживание величин этих частотных компонентов позволяет выявлять степень развития дефектов в подшипниках, но данная величина не всегда напрямую связана со степенью серьезности дефекта. Например, развивающиеся дефекты, такие как наличие сколов в подшипнике, могут поначалу привести к появлению больших пиков колебаний на частоте возникновения дефекта. По мере увеличения размера скола, ударный импульс дефекта может снизиться, так как края дефекта самозарихтовываются или сглаживаются. В этом случае пики амплитуд на этих частотах снизятся. Таким образом, тренд измерения вибрации подшипника показывает этапы изменения вибросигнала и дает возможность специалисту по виброанализу делать выводы о развитии дефекта.

Для эффективного отслеживания изменений колебаний на частоте дефекта подшипника необходимы базовые (референсные) данные. Их следует собрать в тот момент времени, когда подшипник находится в исправном состоянии и использовать в дальнейшем для отслеживания развития дефекта путем сравнения их с текущими замерами. Кроме этого, добиться достоверности замеров вибрации можно путем проведения первоначальных экспериментов по настройке фильтров. Для идентификации отслеживаемых частот дефекта необходима информация о конструкции машины и ее подшипниках. Поскольку для корректного отслеживания дефектов и корреляции полученных данных необходимы многократные измерения, рекомендуется использовать постоянно закрепленные датчики.

#### Диагностика при помощи огибающей спектров вибросигнала требует опыта и правильного использования виброизмерительной аппаратуры

При правильном применении огибающая может быть ценным инструментом для раннего обнаружения дефектов машин, имеющих подшипники качения и редукторы. Огибающая является особенно ценным инструментом, если используется при периодическом мониторинге. Она может предоставить специалисту по виброанализу информацию о состоянии оборудования и указать на дефекты на самом раннем этапе их развития. Используя различные решения и



Рис. 8

услуги от компании Bently Nevada, в том числе и метод огибающей, технический персонал предприятия может получать подробную информацию о состоянии обслуживаемого им оборудования и быть уверенным в том, что оно исправно.

Подводя итог всему вышесказанному, стоит отметить, что для успешного применения метода диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала необходимо учитывать целый ряд факторов: опыт персонала, его знания в области машинного оборудования, корректная конфигурация всей системы измерения. При выборе оборудования и его дальнейшем применении специалисту следует принимать во внимание все эти факторы. При использовании огибающей надо всегда помнить о ее преимуществах и недостатках. Тогда этот метод станет полезным инструментом для любого специалиста по анализу вибрации.

#### Решения Bently Nevada для метода диагностики при помощи спектров огибающей вибросигнала

Метод диагностики по огибающей реализован в следующих продуктах компании Bently Nevada (рис. 8):

- портативные виброанализаторы серии Scout 100/140 и 220;
- система динамического сканирования Trendmaster® DSM;
- беспроводная система мониторинга Essential Insight. Mesh;

- четырехканальная система защиты 1900/65A;
- система мониторинга Vbonline.

Перечисленные устройства могут быть сконфигурированы для получения огибающей по виброускорению и реализации других функций обработки сигналов. Прежде всего, эти устройства применяются для диагностики машин с подшипниками качения. Каждое из этих устройств совместимо с программной платформой диагностики и оптимизации System 1®, в которой может отображаться огибающая по виброускорению и отслеживаться ее изменение специалистом по виброанализу. Также для понимания огибающей можно конфигурировать базовые сигнализации. Функции программного обеспечения Decision Support SM позволяют также конфигурировать правила, которые будут учитывать опыт персона-

ла и его знания о машинах и автоматически анализировать данные спектра огибающей, спектры и другие измерения (температура, состояние масла и т. д.). Эти правила будут создавать рекомендации, которые помогут правильно спланировать работы по обслуживанию. Таким образом, благодаря методу огибающей пользователь может заблаговременно получать корректную информацию об оборудовании.

#### Список литературы

1. *Larry C. Andrews & Ronald L. Phillips. Mathematical Techniques for Engineers and Scientists. 2003.*
2. *J.P. Den Hartog, Mechanical Vibrations. MIT, New York, 1984.*
3. *Buscarello R.T. Practical Solutions to Machinery and Maintenance Vibration Problems, 4th edn. (Update International, Boulder, 2002).*

*Натан Веллер — старший инженер компании GE Bently Nevada.  
Редакция и перевод текста — Михаил Мещеряков.  
E-mail: mikhail.mescheryakov@ge.com  
Контактный телефон (495) 937-11-11.*

#### PTC и Bosch Software Innovations формируют альянс для создания промышленных IoT-решений

Компания PTC и подразделение Bosch Software Innovations объявили о заключении технологического альянса с целью интеграции платформы ThingWorx и комплекса Bosch IoT Suite.

PTC ThingWorx — платформа, предназначена для сборки и запуска приложений действующего сетевого мира. С ее помощью возможно сократить временные, финансовые затраты и снизить риски, связанные со сборкой инновационных приложений для интеллектуальных сетевых изделий. Два главных компонента платформы ThingWorx — сервер ThingWorx и компоненты ThingWorx Edge, включая Edge MicroServer (EMS) и различные комплекты для разработчиков ПО (SDK). Сервер производит аутентификацию пользователя и устройства, выступает посредником в обмене данными между системами, людьми и вещами в ландшафте решения, а также по мере необходимости управляет преобразованием данных, их сохранностью и бизнес-логикой в приложениях для конечного пользователя. EMS позволяет устройствам безопасно обмениваться данными с сервером ThingWorx и быть полноправной частью ландшафта решения. EMS не просто соединяет данные, но и обеспечивает их предварительную интеллектуальную обработку.

Программный комплекс Bosch IoT Suite (размещается на облачном сервере) осуществляет управление и хранение данных, собранных на сборочной линии с помощью технологий RFID и Bluetooth, а также передает соответствующую информацию работникам.

Новый Bosch IoT Suite M2M Connector для ThingWorx обеспечивает технологическое взаимодействие между двумя платформами. Комплекс технологий позволяет IoT-разработчикам соединять устройства и системы различных типов и управлять ими, быстро и экономично создавать IoT-приложения для сложной ИТ-инфраструктуры, легко и быстро адаптировать решения IoT к особым требованиям конкретных компаний и отраслей.

PTC и Bosch Software Innovations успешно провели испытания интегрированного комплекса технологий на стенде Track&Trace Консорциума промышленного интернета

(ИИ). Они организовали беспроводное соединение натяжного оборудования для согласованной работы в цехе предприятия. Приложение Track & Trace позволяет следить за состоянием всех устройств в режиме реального времени. Собираемые данные используются для оптимизации производственных процессов и обслуживания оборудования. Система мгновенно обнаруживает отклонения от нормы и позволяет заменить неисправное устройство до того, как из-за него возникнет простой.

Испытательный стенд Track&Trace служит отличным примером сложной производственной среды, которая характерна для предприятий автомобильной и аэрокосмической промышленности, а также машиностроения и промышленного конструирования. В подобной среде важно наладить согласованную работу различных станков, устройств и процессов. Сочетание технологий ThingWorx и Bosch Software Innovations дает IoT-разработчикам необходимую степень гибкости для соединения различного оборудования и корпоративных систем управления процессами.

В отличие от двух традиционных подходов (использование стандартного ПО либо индивидуальная разработка), предлагаемая объединенная технология сочетает экономичность и точное соответствие требованиям. Компонент управления устройствами (или межмашинного взаимодействия — M2M) в составе Bosch IoT Suite обеспечивает надежное подключение устройств и управление защищенной, гибко настраиваемой и полностью видимой инфраструктурой с распределенными устройствами. Инструмент Vorto с открытым исходным кодом, разработанный Eclipse IoT по заказу Bosch Software Innovations, предназначен для создания и администрирования информационных моделей, которые интегрируются с различными платформами. Платформа разработки IoT-приложений ThingWorx поддерживает функции перетаскивания и позволяет быстро разрабатывать бизнес-приложения. Защита приложений от несанкционированного доступа обеспечивается комплексной стратегией безопасности.

[Http://www.ptc.com](http://www.ptc.com)