

Предотвратить аварийный останов

Онлайн мониторинг вибрации оборудования на примере электрических одноковшовых экскаваторов

Дэн Ноуэр, руководитель экспертной группы по оптимизации работы машинного оборудования, подразделение Emerson Process Management

До недавнего времени современные предприятия использовали мониторинг вибрации с помощью портативных средств. В настоящее время самые прогрессивные из них внедряют автоматизированный мониторинг вибрации для предотвращения простоя дорогостоящего оборудования и увеличения его срока службы. В настоящей статье рассказывается о том, каким образом P&H Mining Equipment использует технологии мониторинга вибрации для максимального увеличения времени безотказной работы и предотвращения неисправностей.

Экономические факторы

Мировой спрос на металлы и энергию требует от горнодобывающих предприятий круглосуточной работы с максимальной производительностью. Ни одна компания, работающая в этой отрасли, не может позволить себе неожиданных остановок основных технологических процессов, поскольку это сразу же отразится на его экономических показателях. Для примера, простой одного электрического экскаватора канатного типа обходится компании до 500 тыс. долл. США в час.

При открытой разработке месторождения такие экскаваторы являются одним из наиболее важных активов. Это крупногабаритное сложное оборудование с двигателями постоянного и переменного тока, многоступенчатыми коробками передач и многочисленными роликовыми подшипниками. Такой уровень сложности в сочетании с круглосуточной эксплуатацией в экстремальных условиях приводит к частым незапланированным простоям, оказывая влияние на весь технологический процесс.

Контролировать или ждать останова?

Зачастую производители горного оборудования и горнодобывающие предприятия предпочитают не контролировать состояние механических узлов экскаваторов, а дожидаться плановых остановов. Специалисты компании P&H решили регулярно проверять состояние экскаваторов, используя анализ уровня вибрации. Одно время на передовых шахтах и в P&H применяли портативное контрольно-измерительное оборудование, однако с недавних пор стали выполнять эту процедуру в автоматическом режиме.

Чем полезен мониторинг вибрации

Сложная механическая конструкция карьерного экскаватора затрудняет контроль его состояния, но анализ вибрации как нельзя лучше справляется с этой задачей. Датчики вибрации могут быть закреплены в местах расположения подшипников, на коробках передач экскаватора и двигателях,



О компании

P&H Mining Equipment Inc. – дочерняя компания корпорации Joy Global Inc. (США). Компания занимается проектированием, производством и продажей (под торговой маркой «P&H») машин и оборудования для открытых горных работ. Штаб-квартира расположена в Милуоки, штат Висконсин, США.

Электрические экскаваторы канатного типа производства P&H, грузоподъемность которых превышает 90 т, используются для погрузки в карьерах. Вместимость ковша скрепковых экскаваторов составляет более 120 м³. P&H также производит бурильные машины, мобильные дробилки и другое горное оборудование.



временно при проведении испытаний либо постоянно. Благодаря анализу сигналов, можно определить недостаток смазки, развитие дефектов подшипников, редукторов, выявить проблемы с центровкой, конструкцией, производственный брак и другое. Своевременно определив назревающие проблемы, можно спланировать техническое обслуживание с минимальной остановкой в работах, скорректировать небольшие отклонения прежде, чем они превратятся в серьезные неисправности. А если анализ показывает, что основной элемент вскоре будет необходимо заменить, времени хватит на заказ запасной детали.



Благодаря анализу вибрации можно определить неисправность редуктора

Тем не менее, анализ вибрации на электрических экскаваторах канатного типа – задача не из легких. Это системы с переменной скоростью работы и небольшим временем цикла, сложной конфигурацией передач и высоким уровнем фоновой вибрации – не говоря о том, что зачастую они расположены в самых удаленных точках планеты.

Первый опыт применения мониторинга вибрации

R&H Mining Equipment стала первым производителем экскаваторов, успешно применившим прогностические технологии в электрических экскаваторах канатного типа и других технологических активах горнодобывающей промышленности. Сюда вошел не только мониторинг вибрации с помощью портативных средств, но и инфракрасный анализ, анализ смазки и ультразвуковой контроль.

На базе этих услуг выросла сервисная организация R&H MinePro. Для анализа вибрации MinePro использовала технологии CSI Technologies и Machinery Health Management (МНМ) компании Emerson, включая аналитическое программное обеспечение PeakVue®. Оно позволяет определять высокочастотные составляющие сигнала, своевременно указывающие на развивающиеся неисправности подшипника. Среди них дефекты внутреннего и внешнего кольца, тел качения, проблемы со смазкой и неисправности, возникающие в результате соударений любого рода, когда металл контактирует с металлом. Система PeakVue также обеспечивает раннее предупреждение неисправностей дорогостоящих компонентов коробки передач.

Датчики вибрации перемещали с одной точки экскаватора на другую и соединяли посредством портативных устройств сбора данных. Затем экскаватор выполнял последовательность поворотных, подъемных и черпающих движений. Процедура выполнялась примерно раз в месяц, при этом экскаватор снимался с производства на 2–4 часа, чтобы пройти такую условную эксплуатацию.

Преимущества автоматизированного подхода

Останов производства, запланированный или аварийный, – это останов, и затраты в этот период могут достигать до миллиона долларов. Более того, сбор данных для мониторинга рабочих элементов экскаватора осуществляется в большинстве случаев тогда, когда он находится в движении, и представляет потенциальную угрозу безопасности для находящегося рядом персонала. Например, стандартная процедура испытаний подразумевает непрерывное вращение экскаватора наподобие огромной юлы в течение 20 минут, при этом два сотрудника выполняют мониторинг.

Чтобы организовать такой ежемесячный плановый перерыв в работе оборудования, нужно скоординировать действия нескольких служб: руководителя службы техники безопасности, специалистов по добыче, техническому обслуживанию и, при необходимости, специализированного персонала. Обычно на планирование останова уходит две недели.

Если бы систему мониторинга вибрации можно было установить на экскаваторе на постоянной основе и обеспечить ее автоматическое функционирование, она могла бы собирать и передавать данные во время эксплуатации без перерывов в работе. В таком случае отпала бы необходимость заблаговременного планирования или согласования с отделом добычи.

Испытание онлайн-мониторинга

В R&H MinePro решили протестировать возможности автоматизированного онлайн-мониторинга вибрации. Специалисты выбрали компанию Emerson для установки системы

Основы анализа вибрации

Подобно тому, как мы подсознательно сравниваем звук работы автомобильного двигателя и ощущения водителя с некой исходной точкой, а опытный механик зачастую, сев за руль, может определить, в чем неисправность, к промышленному оборудованию можно применить слуховое наблюдение.

Большая часть оборудования имеет значительное число источников вибрации. Сюда можно отнести нарушение баланса, когда центр инерции не является центром вращения; несоосность, когда два тела быстро движутся по взаимосвязанным осям, которые не лежат на одной прямой; неисправность подшипника, которая может возникать у роликовых подшипников и втулок; вибрация редуктора, зачастую вызванная повреждением зуба; резонанс элементов конструкции или ослабление крепления; факторы самого технологического процесса, воздействие электрического поля и многие другие.

Измерение вибрации

Вибрацию как движение объекта можно измерить тремя способами: измерив виброперемещение, виброскорость или виброускорение; для этого существуют специальные датчики.

Датчики виброперемещения контролируют движение вала. Этот вариант предпочтителен для мониторинга валов в турбинах. Это также самый сложный в установке вариант и обычно самый дорогой.

Датчики виброскорости оснащены автономным источником питания и обычно устанавливаются на крупных паровых турбинах для измерения абсолютной вибрации. Они не очень распространены из-за своих габаритов и высокой стоимости производства.

Акселерометры – наиболее распространенный тип датчика, используемый в приложениях с роликовыми подшипниками. Более современные устройства под названием «велометры» по сути являются акселерометрами с встроенной интегрирующей схемой.

Виды данных по вибрации

Простейший способ выполнить анализ вибрации – измерить ее общий уровень, как правило, без учета частоты. Обычно это выполняется с использованием средств общего мониторинга (виброметры), систем аварийного отключения при высоком уровне вибрации, онлайн-систем виброзащиты и датчиков вибрации с выходным сигналом 4–20 мА. Мониторинг суммарной вибрации прост в применении; он обеспечивает определение общего уровня и может обозначить общее состояние оборудования, а также предоставить информацию об отклонениях в технологическом процессе.

С другой стороны, так как частота не принимается во внимание, решение не позволяет выделить фоновую вибрацию или определить ее конкретные источники. В целом специалист получает представление о состоянии оборудования, но используя суммарные данные, ему сложно диагностировать конкретные неисправности; информация может оказаться полезной только в определении неисправностей на поздних этапах развития.

Выделение диапазонов, сигнализация и построение трендов

Разбив частотный спектр вибрации на разные диапазоны или полосы, затем рассмотрев их отдельно, определив тенденции и присвоив уровень сигнализации каждому, в целом можно соотносить конкретный сигнал с определенным источником. Общепринятая практика – выбирать узкие диапазоны, каждый из которых сосредоточен на гармонике основной частоты, например, частоты вращения вала в минуту.

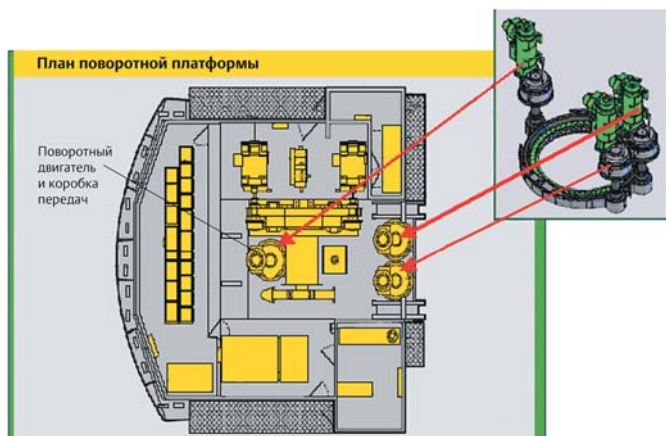
мониторинга на одном из экскаваторов P&H 4100XPC. Модель применяли на руднике по добыче меди и молибдена «Радомиро-Томик» Чилийской национальной медной корпорации (Codelco), где работа велась на высоте более 3000 м в пустыне Атакама, северное Чили.

В состав решения вошла система CSI 6500 Machinery Health Monitor, выполняющая непрерывный мониторинг состояния поворотной и подъемной систем экскаватора. В зависимости от предпочтений пользователя и наличия ресурсов, данные можно анализировать на месте эксплуатации или отправлять в головной офис P&H MinePro с помощью спутниковой связи.

Решение о внедрении онлайн системы зависело от того, будут ли собранные с ее помощью данные соответствовать данным, собранным традиционным (портативным) образом. Первая опытная эксплуатация подтвердила это соответствие.

Как выполняется онлайн-мониторинг

Системы онлайн-мониторинга вибрации экскаваторов P&H Centurion® встроены в систему удаленного мониторинга PreVail®, позволяя отправлять данные о вибрации напрямую в головной офис. Экскаватор обычно включает одну или две системы CSI 6500, одна из которых работает с 24 каналами, вторая – с 48. Это обеспечивает контроль работы системы подъема, поворота и черпания; скрепковый экскаватор может включать восемь таких систем. Программа AMS Machinery Manager также была установлена на экскаваторе так, как показано на рисунке ниже. Акселерометры (выбранные датчики) закреплены в местах расположения подшипников. В таких условиях собираются данные для анализа.



Акселерометры закреплены в местах расположения подшипников на экскаваторе

PeakVue – это методика измерений, позволяющая определить и исследовать волны напряжений на основании анализа максимальных величин. Она обеспечивает своевременное выявление дефектов подшипников и редукторов за счет фильтрации фоновой и нерегулярной вибрации и, таким образом, получения воспроизводимых данных с возможностью анализа динамики. Фиксация развития неисправностей и сопоставление информации с допустимыми уровнями позволяет определить стадию развития неисправности и ее степень.

Уровни вибрации коробок передач и двигателей меняются в зависимости от скорости и направления, поэтому для получения содержательной информации необходимо обеспечить измерение только в тот момент, когда экскаватор совершает определенные действия на определенной скорости.

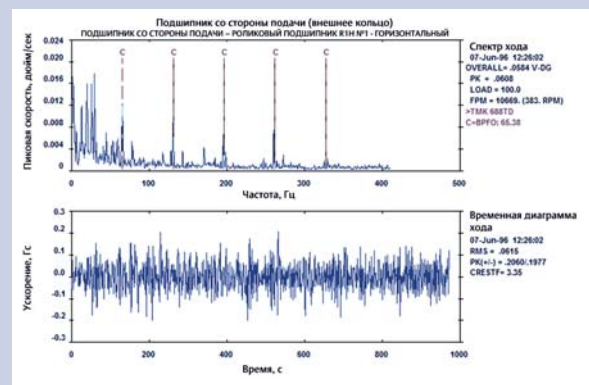
Для системы CSI 6500 это просто вопрос настройки оборудования, которое будет отслеживать такие условия и толь-

В качестве альтернативы, каждый диапазон может быть сосредоточен на частотной характеристике определенного компонента. Например, для роликового подшипника частоту вибрации, появляющуюся в результате различного рода повреждений (внутреннее и внешнее кольца, тело качения или сепаратор), можно рассчитать заранее, зная характеристики подшипника.

На этапе анализа можно проконтролировать и построить тренды по диапазонам частот, связанным с каждой характеристикой. Такая методика дает более точное представление об общем состоянии оборудования; анализ трендов указывает на серьезность проблем и время ремонта: возрастающий тренд легко понять. С другой стороны, способ не полностью определяет неисправности и может ввести в заблуждение. Таким образом, могут потребоваться методики более расширенного анализа (не рассматриваемые в данной колонке).

Спектральный анализ

Спектральный анализ подразумевает отображение полученных данных в частотной области, что обеспечивается быстрым преобразованием Фурье (БПФ) по отношению к данным временной области. Метод поможет достаточно точно определить неисправности и их степень, но занимает много времени (требует расчета четырех ожидаемых частот для каждого роликового подшипника, плюс дополнительные расчеты для коробок передач), а также требует специализированного обучения и опыта.



Например, на рис. показаны измерения вибрации вала с роликовыми подшипниками. На верхней диаграмме в частотной области (полученной путем интегрирования и быстрого преобразования Фурье данных временной области) показаны пиковые значения вибрации на гармонике частоты, при которой тела качения проходят определенную точку внешнего кольца подшипника (частота перекачивания тел качения по внешнему кольцу), что в данном случае составляет 65,38 Гц. Наличие таких пиковых значений говорит о том, что на внешнем кольце подшипника имеется дефект, и вскоре возникнет неисправность.

Баланс технологий

Все описанные методы применимы в техническом обслуживании оборудования. Можно сказать, что лучший подход – сначала определить исходную точку для всего оборудования с использованием спектрального анализа, затем прибегнуть к выделению диапазонов и построению трендов для определения аспектов, требующих дополнительного внимания. В конце концов, подробный анализ можно провести только для оборудования со срабатывающей сигнализацией или возрастающими трендами. Простейший метод – использовать данные об общих уровнях вибрации как установку на срабатывание аварийной защиты.

ко потом фиксировать данные. Это означает, что из 300 циклов, выполняемых экскаватором на протяжении восьмичасовой смены, только три будут соответствовать критериям сбора данных. Однако этого более чем достаточно, особенно в сравнении с существовавшей раньше практикой, когда анализ выполнялся раз в месяц.

Дополнительное испытание

Раз в смену также выполняется дополнительное испытание: оператор активирует переключатель, чтобы проинформировать систему управления PreVail о проведении теста. Затем PreVail запускает систему подъема, поворота и черпания, работающую по заданной модели в течение периода, достаточного для получения данных. Обычно процедура выполняется на перерыве (например, в период ожидания автосамосвала), поэтому не влияет на время полезной работы. Когда сбор данных выполнен, система информирует оператора.

Опытно-экспериментальная установка — результаты 1 этапа

В первой опытно-экспериментальной установке система автоматического мониторинга вибрации запускалась и собирала данные во время дополнительного испытания и земляных работ. Воспроизводимые данные получили в диапазоне 1000 Гц с разрешением 3200 линий в каждом цикле во время записи откидного дна. Данные имели высокую повторяемость.

Окупаемость затрат

Общая стоимость системы мониторинга на базе системы CSI 6500 с установкой на карьерном экскаваторе составила по-

рядка 200–250 тыс. долл. США. Несложно посчитать, что затраты окупятся в результате предотвращения первого часа незапланированного останова. Стоит учитывать что, на период окупаемости в значительной степени влияет и добываемая порода (руда и ее качество).

Итоги

В компании P&H довольны полученными результатами. Сейчас данные собираются чаще, чем один раз в день. Наличие своевременной информации позволяет предотвратить незапланированный останов и оптимизировать ремонтные работы, проводимые по графику.

Планы на будущее

В перспективе данные для мониторинга будут передаваться по беспроводному каналу в припаркованный рядом автомобиль сервисной службы, который затем доставит информацию на станцию для анализа. Ту же самую операцию может выполнять система PreVail, отправляя информацию по спутнику. Системы беспроводной связи в горнодобывающей промышленности постоянно совершенствуются: вскоре данные будут попадать на пульт управления инженера по техническому обслуживанию напрямую.

Но пока ни одному пользователю не удалось наладить процесс так, чтобы по результатам анализа вибрации автоматически запускался заказ на ремонт, поэтому сейчас данные сначала должен рассмотреть специалист. Искусственный интеллект развивается, однако никто пока не готов позволить оборудованию принимать решение об останове без участия человека. ■