

УДК 53.083(430.1)

П.Б. Герике, А.Г.Субботин

СПЕЦИФИКА АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ПРИ РАБОТЕ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК ТИПА СМД

В соответствии с федеральным законом № 116-ФЗ, все технические устройства, эксплуатируемые на опасных производственных объектах и выработавшие свой нормативный срок эксплуатации подлежат обязательной процедуре экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ), неотъемлемой частью алгоритма выполнения которой является широкое применение методов неразрушающего контроля и технической диагностики для определения фактического состояния технологического оборудования.

Объектом данного исследования являются щековые дробилки – технические устройства, которые в силу относительной простоты конструкции и широкой области применения получили повсеместное распространение на дробильно-сортировочных установках и обоганительных фабриках.

Значительная доля дробильно-сортировочного и углеобогательного оборудования, эксплуатируемого на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса, находится сегодня в недопустимом техническом состоянии (по некоторым оценкам до 30% от числа технологических единиц, подпадающих под процедуру экспертизы промышленной безопасности). Этот фактор напрямую влияет на экономические показатели предприятия и безопасность обслуживающего персонала. Единственным методом неразрушающего контроля, позволяющим без длительного простоя оборудования определить его фактическое техническое состояние является контроль по параметрам механических колебаний [1, 2].

При проведении технического диагностирования в рамках процедуры ЭПБ учеными и специалистами ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО КузГТУ выполнен контроль параметров вибрации ряда технических устройств, эксплуатирующихся на обоганительных фабриках и дробильно-сортировочных установках Кузбасса.

На примере выборки из 15 щековых дробилок типа СМД в данной работе рассматриваются вопросы виброанализа, а также особенности распространения виброакустических волн, формирующихся при работе дробильных установок.

Оценка технического состояния оборудования такого типа должна осуществляться преимущественно на основе анализа параметров виброскорости и виброускорения в расширенном до 7 кГц частотном диапазоне методом прямого спектрального анализа.

Статистика проведенных исследований позволяет заключить, что узлам динамического оборудования щековых дробилок присущи следующие основные типы дефектов и повреждений:

- нарушение жесткости системы;
- расцентровка привода дробилки;
- разнообразные дефекты подшипников качения (включая ослабление посадки), нарушение режима их смазки;
- дисбаланс ротора электродвигателя;
- нарушение соосности шкивов и износ ременной передачи;
- износ элементов муфты электродвигателя;
- дефекты двигателя электромагнитного происхождения (магнитная асимметрия якоря, перекося фаз, смещение в магнитном поле и т.д.).

Специфика проведения контроля параметров вибрации на щековой дробилке заключается в том, что в силу некоторых конструктивных особенностей (особенно на дробилках тяжелого класса) процесс диагностирования затрудняет наличие массивных вращающихся элементов и ограниченный доступ к точкам проведения измерений. Так, иногда невозможно провести замеры на подшипниках главного вала дробилки с соблюдением требований правил безопасности, в этом случае ограничиваются проведением измерений в безопасном месте на корпусе или даже фундаменте дробилки. Однако, в этом случае полностью теряется ценная информация о высокочастотных составляющих механических колебаний и значительно искажаются низко- и среднечастотные гармоники спектра.

Ярко выраженное нарушение жесткости системы находится на первом месте по распространенности среди дефектов щековых дробилок. Повсеместно присутствует как ослабление крепежа, так и нарушение жесткости силовых рам и анкерных.

Нарушение жесткости системы обычно проявляет себя в спектре гармоническим рядом оборотной частоты f_R из 10 и более составляющих, что является одним из более чем 16 признаков наличия этого дефекта.

Частотные признаки нарушения жесткости часто совпадают со значащими гармониками спектра, отвечающими за совершенно иные процессы. Все это заметно усложняет анализ исходного сигнала, поэтому на практике специалисты по вибродиагностике перед проведением измерений иногда выполняют

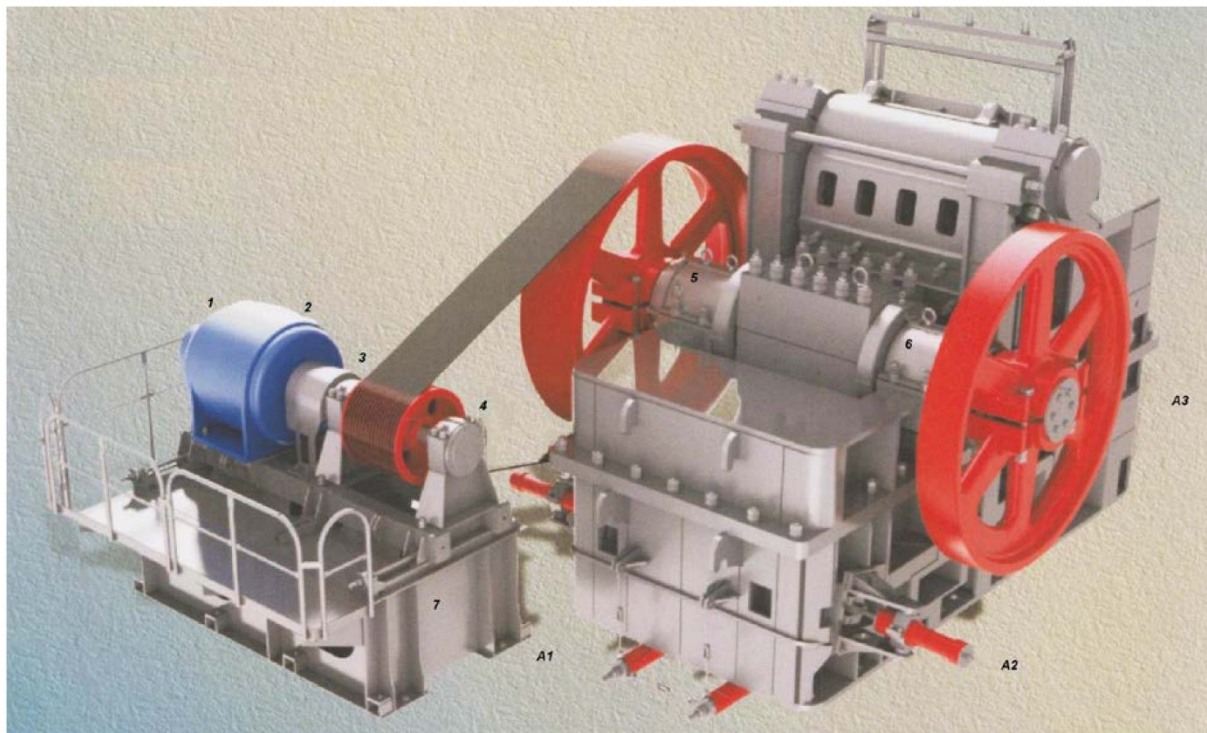


Рис. 1. Схема проведения измерений параметров вибрации на щековой дробилке типа СМД.

визуально-измерительный контроль элементов агрегата с целью получения априорной информации о состоянии крепежа, что в итоге позволяет экономить достаточно значительное время при проведении анализа параметров полигармонической волны и исключать заведомо неверные суждения о наличии различных по своей природе дефектов со схожими диагностическими признаками.

Нарушение соосности шкивов и дефекты ременной передачи (растрескивание, биение, перекручивание ремней и т.д.) также являются довольно распространенными явлениями на щековых дробилках. Причины их возникновения различны – от нарушения технологии монтажа до невыполнения норм ППР и заводского брака. Как правило, такие дефекты приводят к возникновению заметной активности в области низких частот и хорошо интерпретируются при помощи спектрального анализа. Основное выражение, описывающее частотный признак наличия дефектов ременной передачи записывается в следующем виде:

$$f_{\text{ремня}} = f_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot D / L \quad (1)$$

где: D – диаметр шкива, мм;

L – длина ремня, мм;

$f_{\text{ш}}$ – оборотная частота шкива, Гц.

Наличие развитого повреждения передачи, в состав которой сходит комплект из нескольких ремней, приводит к возникновению в спектре

гармонического ряда частоты $k \cdot f_{\text{ремня}}$ с субгармониками и обертонами несущей частоты. Так как сама частота проявления дефекта относительно мала, то ее гармонический ряд обычно представляет собой совокупность составляющих с очень малым шагом, которые, однако, могут достигать достаточно значащих амплитудных величин по параметру виброскорости.

Дефекты подшипников традиционно повсеместно распространены на дробильно-сортировочном и углеобогатительном оборудовании, щековые дробилки СМД не стали исключением.

Чаще всего здесь встречаются различные повреждения подшипников электродвигателя (дефекты наружного и внутреннего колец, трещины и наклеп сепаратора, изменение формы тел качения, нарушение режима смазки и т.д.), кроме того, очень распространенным дефектом является ослабление посадки подшипников главного вала дробилки.

Так, представленный на рисунке 3 спектр полигармонической волны, записанной со стороны свободного конца электродвигателя щековой дробилки типа СМД, содержит информацию о наличии развитого повреждения внутреннего кольца подшипника качения (трещина).

С точки зрения практического виброанализа подшипник качения является одним из наиболее изученных объектов [1, 2, 3].

Анализ может осложнить только ограниченный доступ к штатным измерительным точкам или отсутствие актуальной ремонтной технической документации на объект

исходной характеристики.

Только широкое применение результатов технического диагностирования с использованием комплексного подхода к анализу параметров вибрации позволяет провести точную ассоциацию между источником повышенной вибрационной активности и конкретным типом неисправности,

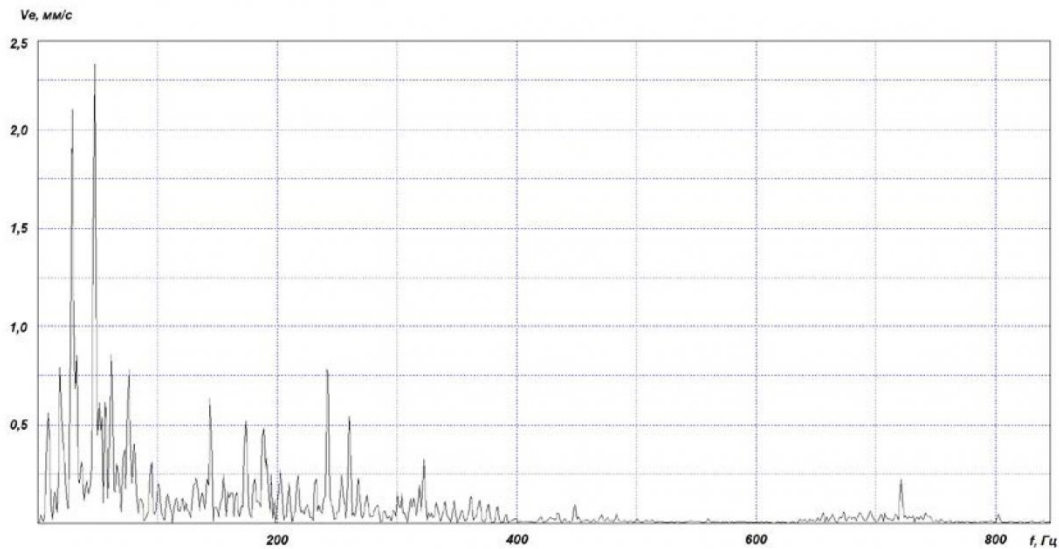


Рис. 2. Нарушение жесткости системы на щековой дробилке СМД-108А (измерительная точка 2, см. рис.1)

диагностирования.

Так, например, проведение измерений в отдаленных точках агрегата или использование в труднодоступных местах диагностического щупа значительно сужает информативный частотный диапазон спектральной характеристики, содержащий полезную информацию о наличии повреждений подшипникового узла.

Кроме того, эти факторы оказывают влияние на характер спектра, изменяя его состав: низкочастотные составляющие нередко подвергаются искажению, в то время как высокочастотные колебания затухают по мере удаления от источника своего возбуждения и не регистрируются измерительной аппаратурой.

Вышесказанное подтверждает необходимость применения комплексного диагностического подхода, включающего в себя сразу ряд методов вибродиагностики (спектральный анализ, эксцесс, анализ огибающей и метод ударных импульсов), причем сами измерения в этом случае должны проводиться в расширенном минимум до 7кГц частотном диапазоне (зависит от объекта диагностирования) на всех режимах работы агрегата.

В случае изучения процессов распространения виброакустических волн, формирующихся при работе зубчатых передач, к этому к стандартному методов методов добавляют вейвлет-преобразование и кепстральную обработку

указать степень развития дефекта, четко сформулировать рекомендации по ремонту техники, дать обоснованную оценку техническому состоянию работающего агрегата.

Так, например, частотные признаки такого высокоэнергетического дефекта как дисбаланс ротора электродвигателя в силу конструктивных особенностей агрегата могут совпадать с повреждениями совершенно иной природы. Развитая неуравновешенность ротора является одним из серьезнейших дефектов динамического оборудования, и в сочетании с нарушением жесткости опорной системы и расцентровкой привода механизма создает вероятность отрыва вращающихся деталей или всей машины от опор, что представляет реальную опасность жизни и здоровью обслуживающего персонала установки. Именно поэтому выявление дисбаланса ротора на той стадии, когда его развитие еще не угрожает разрушением конструкции является важной задачей практического виброанализа. И зачастую сделать это представляется возможным только с применением комплексного диагностического подхода, включающего метод прямого спектрального анализа и анализа траектории движения ротора.

В ряде случаев целесообразно использование метода анализа контурной характеристики — диагностического подхода, позволяющего провести четкую ассоциацию мощности сигнала с

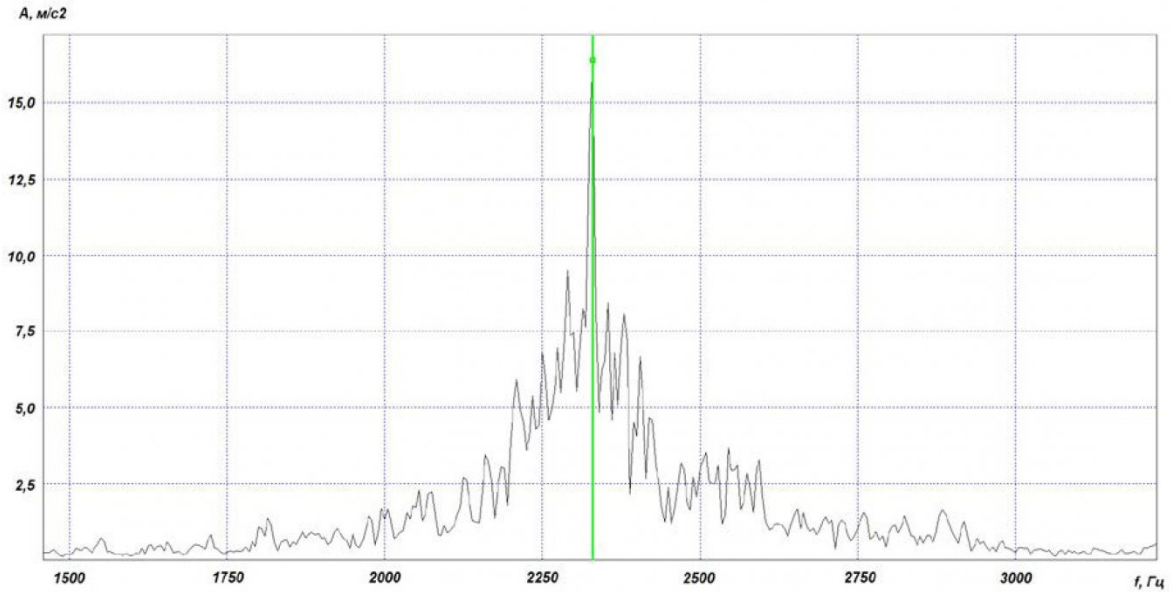


Рис. 3. Развитый дефект подшипника электродвигателя щековой дробилки СМД-110А.

местом его генерации и особенностями распространения волн по материалу конструкции агрегата.

Результаты исследований в области обработки виброакустических сигналов, генерируемых при работе дробильно-сортировочного оборудования, позволяют сделать вывод о необходимости дальнейшего сбора статистических данных, обобщение которых может быть использовано для обоснования критериев предельно-допустимого состояния оборудования.

Только представительный объем статистической информации по параметрам механических

колебаний позволит разработать математические деградационные модели изменения технического состояния объектов диагностирования и уточнить зависимости, используемые для расчета остаточного ресурса технического устройства, эксплуатируемого на опасном производственном объекте.

«В настоящее время необходимо опережающими темпами повышать эффективность производства на базе ускорения научно-технического прогресса..., обеспечивать удовлетворение потребностей в запасных частях к машинам и оборудованию» [4].

Только с широким использованием методоло-

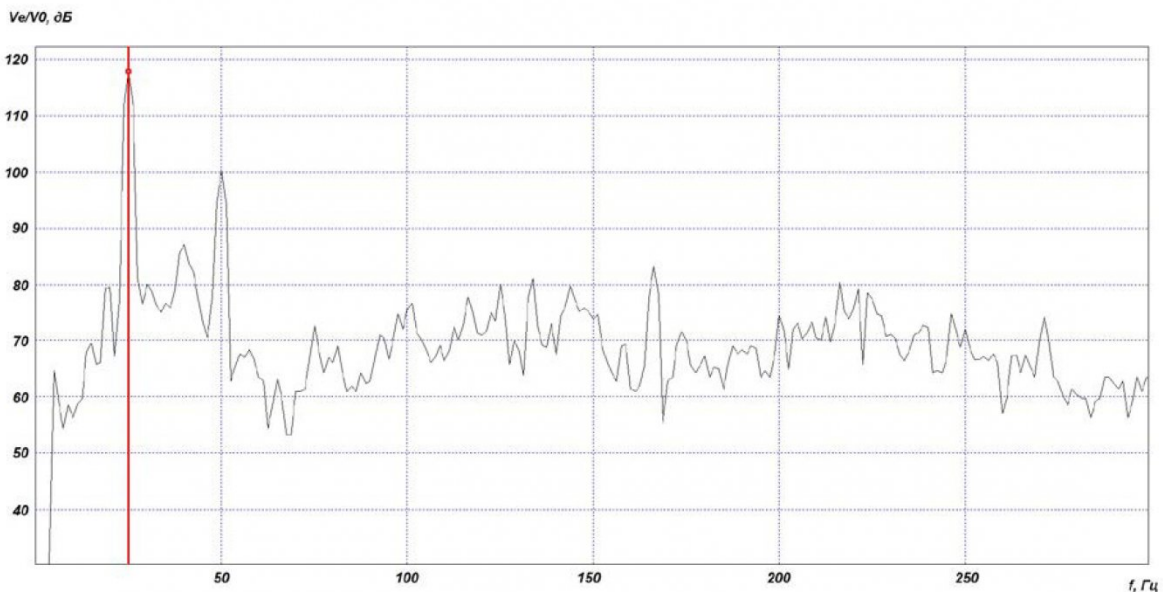


Рис. 4. Неуравновешенность ротора электродвигателя щековой дробилки СМД-109.

гии диагностирования технического состояния технологического оборудования по параметрам вибрации появится база для перехода на более совершенные формы технического обслуживания. Только качественно новая система управления техническим обслуживанием и выполняемыми ремонтами оборудования позволит эффективно и максимально безопасно эксплуатировать технику, минимизировать потери времени на аварийные простои, оптимизировать логистику и складское хозяйство предприятий, выйти на мировой уровень качества проводимых ремонтов.

Реализацию элементов системы обслуживания

по фактическому техническому состоянию на данном этапе технологического развития предприятий угольной промышленности целесообразно применить к наиболее ответственной части оборудования обогатительных установок и фабрик (до 20 % от общего количества технологических позиций). Только выполнение перечисленных этапов концепции развития системы ремонтов позволит перейти на качественно новый уровень обслуживания техники, что безусловно даст значительный положительный экономический эффект и повысит безопасность работы обслуживающего персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герике Б.Л.* Диагностика горных машин и оборудования. Учебное пособие. /Б.Л. Герике, П.Б. Герике, В.С. Квагинидзе, Г.И. Козовой, А.А. Хорешок / Москва, 2012. – 400 с.
2. *Неразрушающий контроль.* Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7. – Москва, 2005. – 828 с.
3. *Кравченко В.М.* Повреждения подшипников качения в результате износа./В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В. В. Буцукин // Горное оборудование и электромеханика. - № 2, 2013. – С. 45-47.
4. *Клишин В.И.* Монтаж, демонтаж, эксплуатация и ремонт горно-шахтного оборудования. Учебное пособие / В.С. Квагинидзе, Г.И. Козовой, В.И. Клишин, Москва, 2012. – 511 с.

Авторы статьи

Герике
Павел Борисович
канд. техн. наук, доцент, старший
научный сотрудник лаборатории
средств механизации отработки
угольных пластов
Института угля СО РАН.
Email: am_besten@mail.ru,

Субботин
Анатолий Григорьевич
технический директор
ООО «КузбассРИКЦ»,
эксперт высшей квалификации
системы ЭПБ ТУ ОПО.
Email: ri kc96@rambler.ru