

УДК 53.083(430.1)

П. Б. Герике

СОЗДАНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КРИТЕРИЕВ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГРОХОТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.

Большое количество технологических единиц дробильно-сортировочного оборудования, эксплуатируемого на установках, комплексах и обогатительных фабриках предприятий угольной и горнорудной промышленности Кузбасса, в настоящее время выработали свой ресурс. Значительная часть техники сегодня находится в недопустимом состоянии. В рамках выполнения технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных объектах, учеными и специалистами ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» в 2014 г. выполнены диагностические работы по контролю динамического оборудования, эксплуатируемого на ряде промышленных предприятий Кемеровской области (обогатительные фабрики – ОФ «Листвянская», ЦОФ «Беловская», ОФ «Черниговская» и другие). Объектом данного исследования является динамическое оборудование грохотов различного типа и конструкции, в частности, следующих моделей: ГИСТ-72, СМД – 113А, ГЦЛ-3, ГИЛ-52, ГИСЛ-62 и т.д. Исследованиями многих авторов неоспоримо доказана эффективность, гибкость и информативность применения подходов вибродиагностики для решения задач оценки и контроля технического состояния машин и выявления дефектов самого разного динамического оборудования технических

устройств на разной стадии их развития [1-3]. Метод вибродиагностики основан на анализе параметров виброакустических волн, формирующихся при работе любого динамического агрегата, включает в себя целую группу диагностических подходов, основанных на специализированной математической обработке исходного сигнала. Контроль технического состояния машин и механизмов по параметрам механических колебаний является неотъемлемой составляющей процедуры экспертизы промышленной безопасности технических устройств, эксплуатирующихся на опасных производственных объектах (ЭПБ ТУ ОПО) [4].

Среди динамического оборудования грохотов наибольшее распространение получили следующие типы неисправностей и дефектов:

- дисбаланс ротора электродвигателя;
- дефекты элементов соединительных муфт;
- нарушение соосности шкивов, дефекты ременных передач;
- ослабление посадки, увеличение зазоров подшипников и нарушение режима их смазки, разнообразные дефекты подшипников качения;
- нарушение жесткости системы, структурный резонанс;
- дефекты электродвигателей электрической природы.

Причины возникновения перечисленных дефектов различны, часть из них формируется еще на стадии проектирования и изготовления деталей

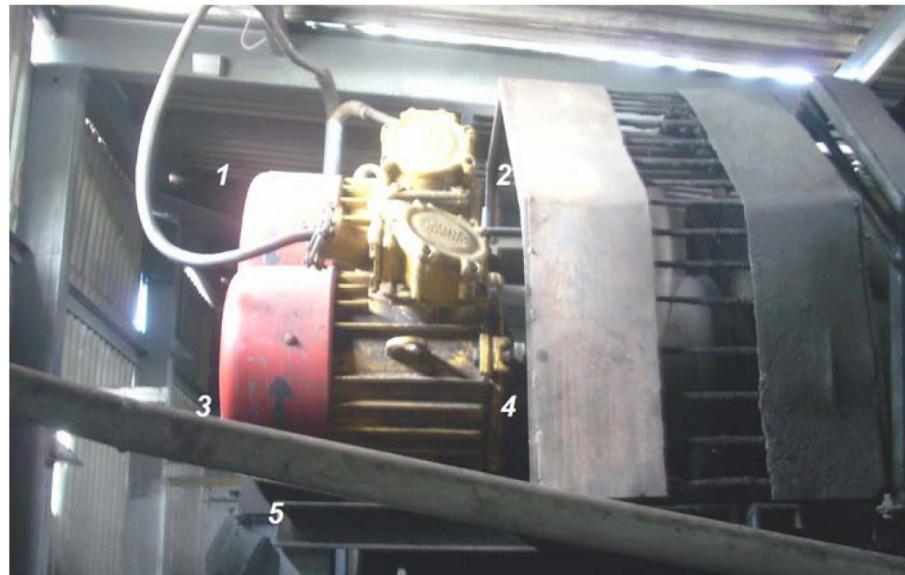


Рис. 1. Схема проведения измерений грохот ГИСЛ-62.

и узлов, другие являются результатом неквалифицированного монтажа. Самая распространенная группа дефектов – эксплуатационные, проявляющие себя в процессе работы оборудования, эксплуатируемого зачастую с многочисленными нарушениями регламента технического обслуживания. Ниже приведены некоторые примеры анализа параметров вибрационных волн, содержащих информацию о наличии диагностируемых неисправностей и повреждений.

Оценка технического состояния динамического оборудования грохотов вне зависимости от их типа, конструкции и рабочих параметров может быть эффективно осуществлена основе анализа параметров виброскорости и

виброускорения амплитудно-частотной характеристики вибравибрационного сигнала в достаточно узком частотном диапазоне, составляющем от 2 до 2 000 Гц. Прямой спектральный анализ является универсальным методом вибродиагностики, позволяющим провести точную интерпретацию параметров вибравибрационной волны и с высокой степенью достоверности подтвердить наличие того или иного дефекта и определить степень его развития. Однако, при проведении полного диагностического обследования предпочтение отдается комплексному подходу с использованием всех возможностей аппаратуры. Как правило, такая методика включает в себя элементы различных диагностических подходов – таких как

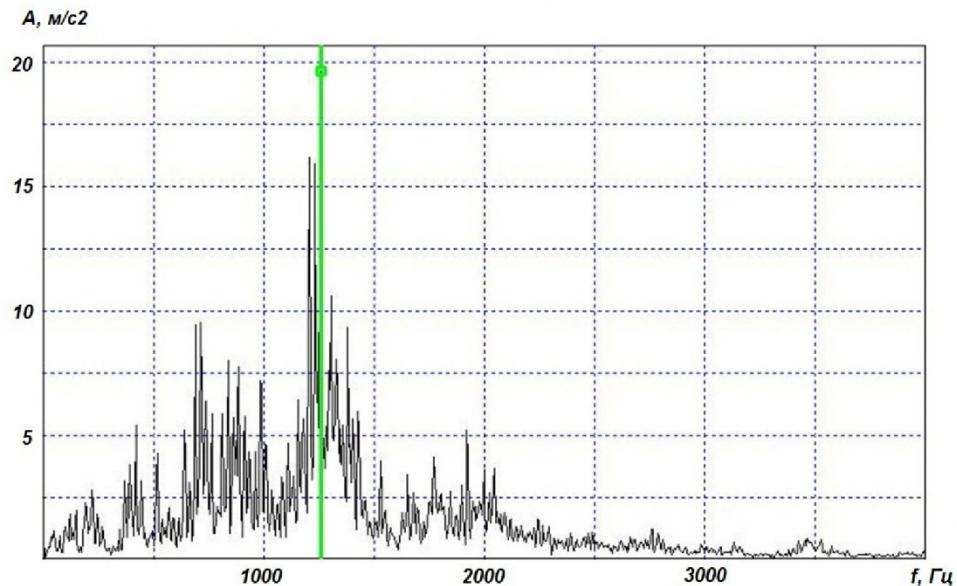


Рис. 2. Зарождение дефекта подшипника электродвигателя грохота ГЦЛ-3.

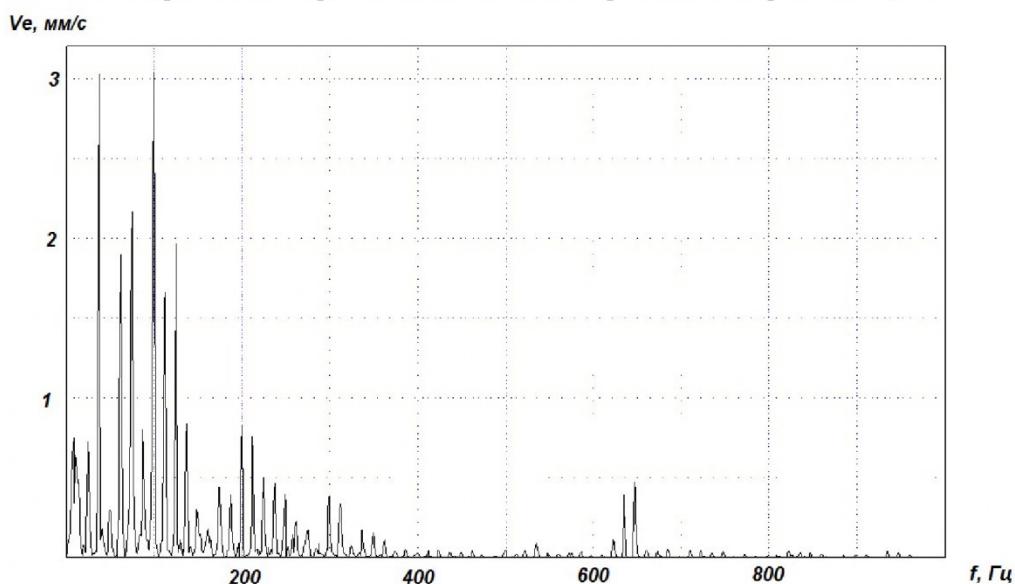


Рис. 3. Ярко выраженное нарушение жесткости системы, дефект соединительной муфты, ослабление посадки подшипника электродвигателя грохота ГИСЛ-62УК.

спектральный анализ, синхронное накопление, анализ огибающей, временная реализация, а также экспесс. Кроме того, высокую достоверность полученных результатов обеспечивает техника вейвлет – преобразования исходного сигнала. Именно такое сочетание методов вибродиагностики обеспечивает возможность максимально точной интерпретации результатов [1, 2].

Результаты обработки исходной информации с применением комплексного диагностического подхода позволяют компенсировать существенные ограничения на область применения того или иного конкретного метода вибродиагностики – такие как низкие рабочие частоты, знакопеременные ударные нагрузки, источники случайной высокочастотной вибрации и т.д. Кроме того, полученные с использованием различных диагностических подходов результаты в значительной степени дополняют друг друга, повышая вероятность выявления дефектов динамического оборудования еще на стадии их зарождения, когда соответствующие им компоненты спектра малозаметны и легко теряются в комбинациях других значащих гармоник и акустическом шуме спектральной характеристики.

Именно результаты применения комплексного подхода к анализу параметров механических колебаний позволяют извлечь максимум полезной информации из исходной виброакустической волны и дать обоснованную достоверную оценку фактическому состоянию работающего агрегата.

Специфика проведения измерений параметров вибрации на технологическом оборудовании предприятий угольной промышленности накладывает свои определенные требования к используемой аппаратуре – необходим широкий частотный и динамический диапазон измерений, минимум два измерительных тракта, максимальное количество аппаратно реализованных методов проведения контроля, пыле- и влагостойкое исполнение прибора, температурный режим устойчивой работы от -20 до +50 °C, увеличенный объем памяти, малый вес, надежное крепление соединений системы «датчик-прибор», искровзрывобезопасная защита корпуса. Таким требованиям удовлетворяет далеко не вся измерительная аппаратура, присутствующая на рынке, что затрудняет работу служб и лабораторий неразрушающего контроля и технической диагностики, накладывает свои ограничения на использование эффективных диагностических подходов.

Большинство эксплуатируемых в угольной промышленности грохотов различного типа и конструкции относятся ко второй группе классификации по ISO 2372 (VDI 2056), предел зоны допустимого технического состояния в этом случае выбирается на основе оценки эффективного значения виброскорости и определен как $V_e = 7,1$ мм/с. Однако, для более

точной оценки технического состояния, наиболее эффективным считается применение комплексных диагностических критериев, учитывающих, в том числе, оценку предельных уровней механических колебаний в частотных диапазонах, зависящих от скорости вращения вала приводного электродвигателя (первый критерий) [5].

Так, для стандартного спектра принято выделять минимум пять основных частотных диапазонов, для каждого из которых нормируется индивидуальный показатель эффективного среднеквадратического значения виброскорости, например:

1. Общий диапазон. $V_{eCKZ}(0...40)*f_{об} \leq 6,2$ мм/с;
2. Субгармоническая вибрация. $V_{eCKZ}(0...1,2)*f_{об} \leq 5,3$ мм/с;
3. Низкочастотный диапазон. $V_{eCKZ}(1,5...3,5)*f_{об} \leq 4,4$ мм/с;
4. Среднечастотная вибрация. $V_{eCKZ}(3,5...40)*f_{об} \leq 2,3$ мм/с;
5. Высокочастотный диапазон. $V_{eCKZ}(40*f_{об}...10 \text{ кГц}) \leq 1,8$ мм/с.

Приведенная здесь классификация является одной из самых простых и может быть использована при построении спектральных масок для оценки интенсивности вибрации грохотов различной конструкции, а указанные значения СКЗ виброскорости являются пороговыми величинами, достижение которых считается признаком развития повреждений динамического оборудования и требует принятия незамедлительных мер по выполнению обслуживания, наладки или ремонта. Основной недостаток такого подхода к нормированию уровней механических колебаний заключается в необходимости разработки большого количества спектральных масок для каждой модели грохота, а в случае замены приводного электродвигателя или внесения любых изменений в конструкцию привода спектральные маски необходимо рассчитывать заново, что напрямую связано со значительными трудозатратами. Это является основной причиной того, что на практике наибольшее распространение получила система распознавания оценки состояний по общему уровню механических колебаний [6].

Вторым основным критерием оценки предельного технического состояния динамического оборудования грохотов является совокупность диагностических признаков, оценивающих повреждения конкретных узлов и элементов оборудования.

Так, например, нарушение соосности шкивов и дефекты ременной передачи (растягивание, биение, перекручивание ремней и т.д.) вызывают заметную гармоническую активность на частоте $f_{ремня} = f_{ш} \cdot \pi \cdot D/L$, её гармониках и обертонах (D – диаметр шкива, мм; L – длина ремня, мм; $f_{ш}$ – оборотная частота шкива, Гц). Сама частота

проявления дефекта относительно мала, однако ее гармонический ряд обычно представляет собой совокупность составляющих с очень малым шагом, которые могут достигать достаточно значительных амплитудных величин по параметру виброскорости и вносить весомый вклад в общий уровень сигнала.

Дефекты подшипников качения (см. рисунок 2) традиционно повсеместно распространены на дробильно-сортировочном и углеобогатительном оборудовании. Такие повреждения подшипников, как дефекты наружного и внутреннего колец, трещины и наклеп сепаратора, изменение формы тел качения, нарушение режима смазки и т.д. с учетом постоянной частоты работы привода довольно легко выявить методом прямого спектрального анализа. Здесь в качестве диагностического признака используется группа так называемых «подшипниковых» частот, учитывающая геометрические параметры установленного подшипника и рабочие частоты. Для расчета подшипниковых частот на рынке программного обеспечения существует большое количество прикладных программ, вопросы выявления и анализа этих групп информативных гармоник хорошо изучены [1, 2]. В случае отсутствия априорной информации о марке и геометрических параметрах используемого подшипника качения эффективным считается применение метода эксцесса, позволяющего с высочайшей степенью достоверности выдавать четкие рекомендации о замене дефектного узла.

Нарушение жесткости системы (см. рисунок 3) с точки зрения практического вибранализа является достаточно трудно диагностируемым дефектом. Причина этого заключается в большом количестве диагностических правил и частотных признаков (более 17), используемых для

выявления этого повреждения, часть из них совпадает с признаками других дефектов, что значительно затрудняет интерпретацию полученных результатов. Именно поэтому широкое распространение получил метод визуально-измерительного контроля, выполняемый для быстрой оценки состояния элементов крепежа и силовой рамы агрегата.

Вышеперечисленные факты доказывают, что 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, указать степень развития дефекта, четко сформулировать рекомендации по ремонту техники, дать обоснованную оценку техническому состоянию работающего агрегата. Так, например, большинство частотных признаков такого развитого высокоэнергетического дефекта как дисбаланс ротора электродвигателя (см. рисунок 4) могут практически полностью совпадать с признаками наличия повреждений агрегата совершенно иной природы, что объясняется конструктивными и кинематическими особенностями агрегата. Неуравновешенность (дисбаланс) ротора является одним из серьезнейших дефектов динамического оборудования машин и агрегатов [7], и в сочетании с нарушением жесткости опорной системы и расцентровкой привода механизма создает вероятность отрыва врачающихся деталей и разрушения привода [8]. Именно поэтому вопрос диагностирования дисбаланса на максимально ранней стадии его развития является важной задачей практического вибранализа. Для решения этой задачи наилучшим образом

$Ve/V_0, \text{дБ}$

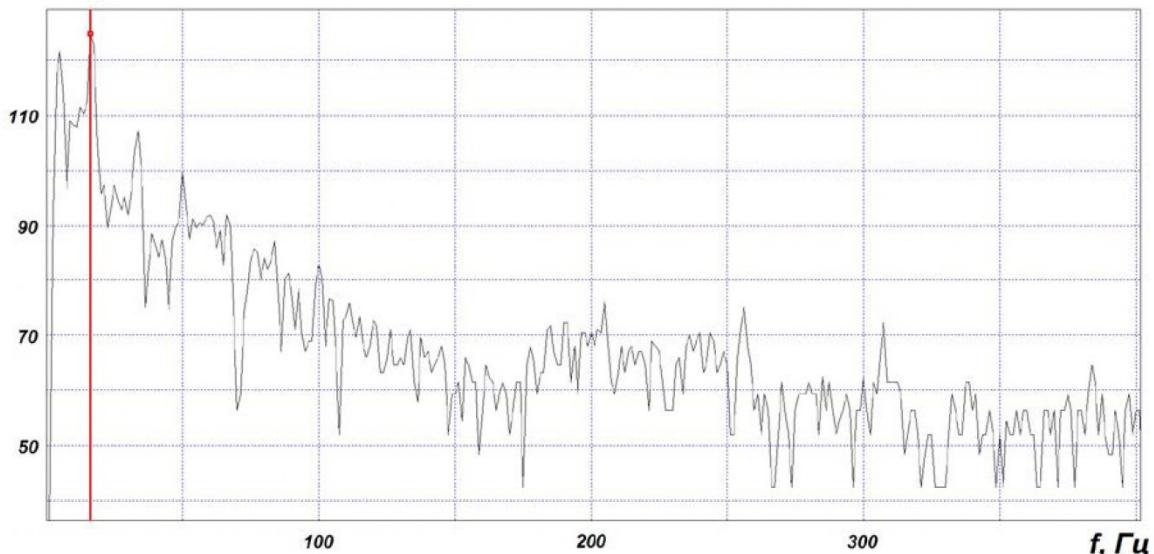


Рис. 4. Развитие дефекта динамического дисбаланса ротора левого электродвигателя грохота ГИСТ-72.

подходит комплексный диагностический подход, включающий метод прямого спектрального анализа, анализ траектории движения ротора и/или анализ контурной характеристики.

Именно формирование при работе динамического оборудования горных машин развитых высокоэнергетических низкочастотных процессов в совокупности с высокочастотными составляющими, незначительными по амплитуде, но свидетельствующими о наличии прогрессирующих повреждений является критерием, на основе которого можно определить предельное состояние узлов и механизмов [9].

Сбор и обобщение статистической информации по параметрам механических колебаний необходимо продолжить – об этом убедительно свидетельствуют результаты исследований в области обработки виброакустических сигналов, генерируемых при работе дробильно-сортировочного оборудования.

Только результаты обработки большого массива данных, структурированного по типам и маркам оборудования, предоставят возможность обоснования точных критериев предельно-допустимого состояния для широкого ряда горных машин, разработки математических деградационных моделей изменения технического состояния объектов диагностирования и уточнения зависимостей, используемых для расчета остаточного ресурса технических устройств, эксплуатируемых на

опасных производственных объектах.

Обобщая результаты выполненных исследований можно заключить, что только практическое применение предложенного подхода к оценке технического состояния позволит сформулировать эффективные критерии предельного состояния для широкого типового ряда дробильно-сортировочного оборудования, что, в свою очередь, может быть использовано в качестве базы для создания платформы качественно новых форм технического обслуживания. Только внедрение такой платформы позволит осуществить необходимый качественный переход от устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов оборудования и исключить «аварийное» обслуживание технических устройств в условиях угольной промышленности, которая всегда будет являться объектом повышенной опасности [10]. Только с внедрением на предприятиях угольной и горнорудной промышленности системы обслуживания техники по фактическому техническому состоянию появится возможность максимально безопасно эксплуатировать производственное оборудование, обоснованно и эффективно планировать и осуществлять ремонтные мероприятия, достоверно оценить остаточный ресурс техники, оптимизировать логистику и складское хозяйство, свести к минимуму непроизводительные простои и значительно уменьшить вероятность возникновения серьезных аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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.
- Неразрушающий контроль. Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.
- S. Delvecchio, G. D'Elia, G. Dalpiaz. Condition monitoring of marine couplings by means of vibration analysis. Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Portland, Oregon, USA. August 4-7, 2013
- Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ.
- Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
- ГОСТ ИСО 10816-1-97. Оценка состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования.
- F. Balducci, M. Arghir, S. Gaudillere. Experimental analysis of the unbalance response of rigid rotors supported on aerodynamic foil bearings. Proceedings of ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition GT2014. June 16 – 20, 2014, Düsseldorf, Germany.
- Герике П. Б. Вибродиагностика оборудования угольной и горнорудной промышленности. / Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня: Институт угля Сибирского отделения РАН. – М. – изд-во «Горная книга». – 2013. - №OB 6. – С. 440 – 446.
- Bently D.E., Hatch C.T. Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics, Bently Pressurized Press, 2002, P.726.
- 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.

Автор 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

Поступило в редакцию 14.01.2015