

ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 53.083(430.1)

П.Б. Герике, А.Г. Субботин

ГЕНЕРАТОРНЫЕ ГРУППЫ ЭКСКАВАТОРОВ ТИПА ЭКГ КАК ОБЪЕКТ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Техническое состояние эксплуатируемого в угольной отрасли технологического оборудования оказывает прямое влияние на безопасность проведения горных работ - одну из приоритетных задач развития угольной промышленности. Большое количество карьерных экскаваторов типа ЭКГ, эксплуатируемых на угольных и горнорудных предприятиях Кузбасса, отработали свой нормативный срок. По некоторым оценкам, около 30 % карьерных экскаваторов, из числа отработавших нормативный срок по времени эксплуатации или объему отгруженной горной массы, находятся в недопустимом техническом состоянии.

Результаты статистической обработки вибрационных характеристик, полученных в результате обследования генераторных групп экскаваторов типа ЭКГ, позволяют сделать вывод о повсеместном распространении на этих объектах следующих основных типов дефектов:

- расцентровка валопровода агрегата;
- дефекты подшипников качения (повреждения наружного и внутреннего колец, сепаратора, изменение формы тел качения, нарушение режима смазки) и ослабление их посадки;
- дефекты элементов соединительных муфт;
- дисбаланс ротора сетевого двигателя /генератора;
- нарушение жесткости системы.

Чуть реже этот список пополняют дефекты электрической природы – такие, как замыкание обмоток статора или асимметрия магнитного поля.

По причине относительной простоты анализа параметров вибрационной волны, формирующейся при работе генераторной группы, преобразовательный агрегат является самым изученным объектом среди всего динамического оборудования одноковшовых карьерных экскаваторов. Как следствие, весь процесс контроля вибрации штатными специалистами угольных предприятий зачастую ограничивается измерением выброскорости в частотном диапазоне от 10 до 1000 Гц, который не включает в себя многие значащие гармонические составляющие.

Вместе с тем, исследования [1] убедительно показывают, что только применение комплексного диагностического подхода позволяет повысить

достоверность результатов анализа. Кроме того, только расширив диапазон измерений до 7...10 кГц по параметру виброускорения можно эффективно оценить техническое состояние и выявить все дефекты преобразовательного агрегата экскаваторов типа ЭКГ.

Рассмотрим несколько примеров анализа реальных спектров, записанных на генераторных группах (рис. 1-4) и иллюстрирующих процесс диагностирования дефектов динамического оборудования.

Спектр на рисунке 1 содержит информацию о наличии сразу нескольких распространенных дефектов преобразовательного агрегата – нарушении жесткости системы, некритичном дисбалансе ротора и расцентровке валопровода. В данном конкретном случае нарушение жесткости системы проявляет себя гармоническим рядом оборотной частоты f_R из 11 составляющих (один из более чем 16 признаков выявления нарушения жесткости по параметрам механических колебаний). Частотные признаки этого дефекта нередко совпадают со значащими гармониками, которые соответствуют некоторым другим повреждениям агрегата, что заметно усложняет проводимый анализ. Например, частоты могут совпадать с признаками такого распространенного дефекта, как расцентровка валопровода агрегата. В свою очередь, нарушение центровки приводит к следующим основным проблемам:

- быстрый износ элементов соединительных полумуфт;

- чрезмерное нагружение и преждевременный выход из строя подшипников, эксплуатационный ресурс которых сокращается до 10% от номинального;

- физическое повреждение элементов конструкции валопровода вследствие длительной работы при высоком уровне вибрации.

На практике часто присутствуют комбинации нескольких основных типов расцентровки – обычно это сочетание угловой и параллельной несоосности валов агрегата.

Основным (но далеко не единственным) частотным диагностическим признаком несоосности валов агрегата является наличие ярко выраженной гармонической составляющей

на частоте $2f_R$ [1, 2], амплитуда которой по параметру виброскорости составляет не менее 3 мм/с. Сочетание разных типов нарушения соосности и некоторые особенности кинематики механизма могут вызывать присутствие в спектре различных комбинаций гармоник с порядковыми номерами до шестой – восьмой.

Рис. 2 иллюстрирует спектральное представление полигармонической волны по параметру виброускорения. Характеристика снята с подшипника сетевого двигателя и свидетельствует о наличии сразу нескольких развитых повреждений этого узла – дефекте внутреннего кольца и изменении формы тел качения.

Общий уровень измеренного сигнала составляет $A_{CKZ}=79,1 \text{ м/с}^2$, максимальная амплитуда гармоник $A=29,5 \text{ м/с}^2$, что значительно

превышает установленные предельные значения.

Следует отметить тот факт, что дефекты подшипников качения по статистике находятся на втором месте после нарушения жесткости опорной системы по частоте распространения среди дефектов преобразовательного агрегата. Основные причины их возникновения и развития – заводской брак, нарушение технологии монтажа подшипника или центровки валов агрегата, нарушение режима и качества смазки (рис. 3).

Строго говоря, сам по себе подшипник качения является одним из самых изученных объектов с точки зрения вибраанализа, причины выхода его из строя, дефекты и соответствующие им диагностические признаки четко определены исследованиями многих авторов [1, 2, 3]. Даже такие физические явления, как износ элементов

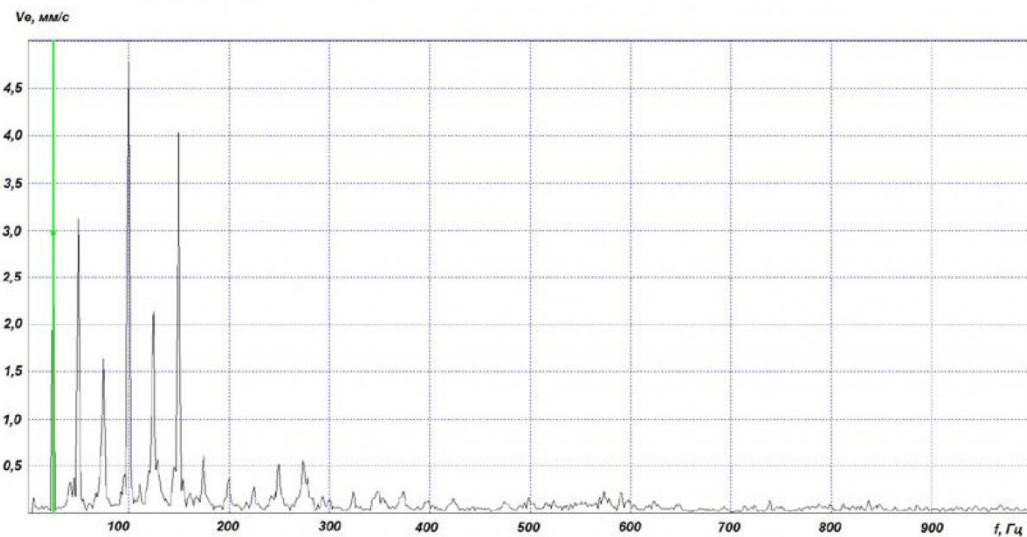


Рис. 1 – Сетевой двигатель экскаватора ЭКГ 5А. Ярко выраженное нарушение жесткости системы, некритичные дисбаланс ротора и расцентровка валопровода агрегата, вероятен дефект электрической природы.

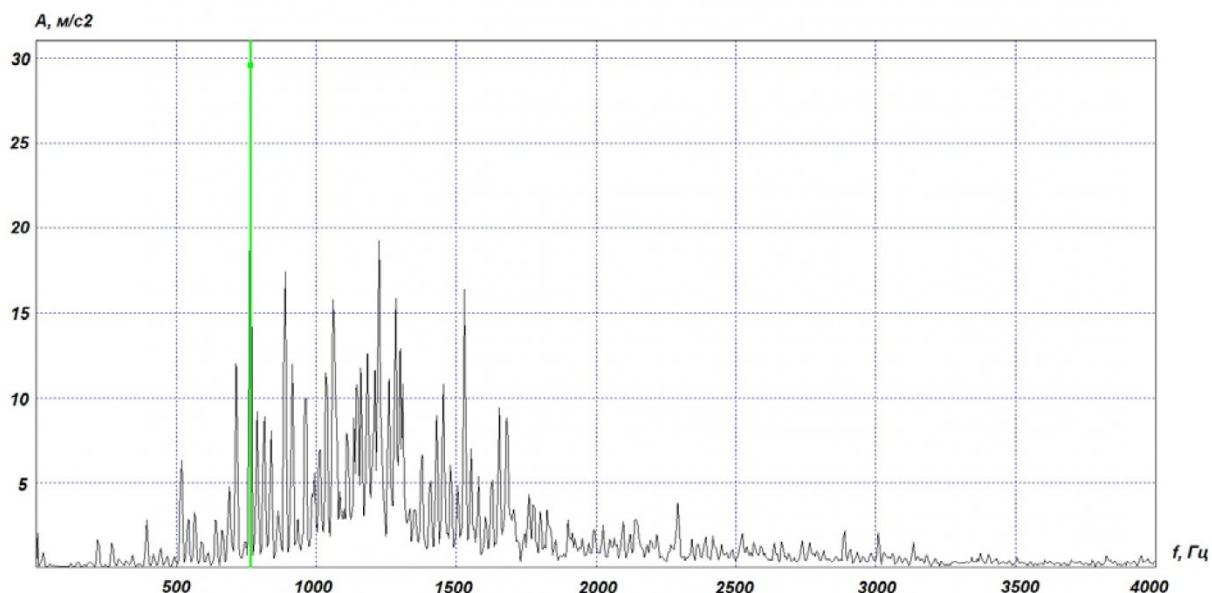


Рис. 2 – Развитое повреждение подшипника сетевого двигателя экскаватора ЭКГ 5А.

подшипника схватыванием второго рода, который поначалу проявляется в виде незначительных малозаметных заеданий при работе, часто предшествующих полному разрушению, могут быть своевременно диагностированы с запасом по времени, который позволит провести экстренную замену дефектного узла и избежать аварийных простоев технологического оборудования [3].

Для выявления повреждений подшипников качения и определения их технического состояния создано большое количество методов виброконтроля – это и разработанный шведской фирмой SPM метод ударных импульсов (Shock pulse method), и метод BEARCON (фирма Schenck), предназначенный для измерения

количественных характеристик состояния подшипника, и широко распространенный метод анализа огибающей, а также ряд других методов и диагностических подходов (например, анализ Пик-фактора или экспесс). Однако, для диагностики дефектов этого узла прекрасно подходит и метод спектрального анализа. Диагностическими признаками наличия повреждений элементов в этом случае служат подшипниковые частоты, вычисляемые по геометрическим параметрам и частоте вращения вала, на котором насажен подшипник. Некоторые из подшипниковых частот можно определить и по упрощенным выражениям, не зная точной геометрии узла. Относительная простота расчетов

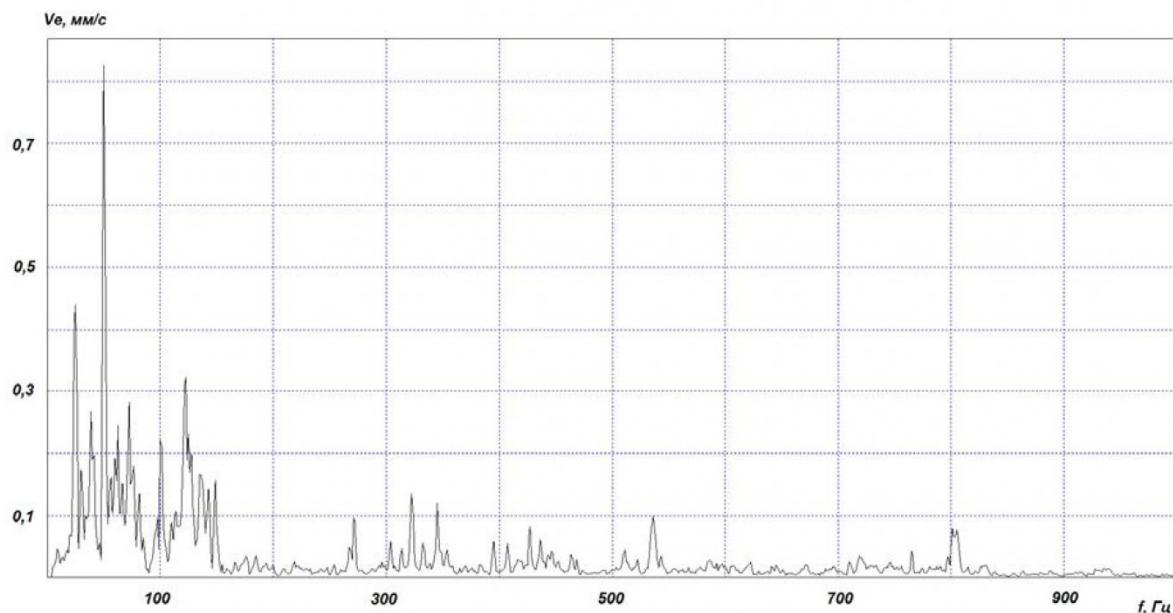


Рис. 3 – Нарушение режима смазки подшипника генератора поворота экскаватора ЭКГ 4,6Б.

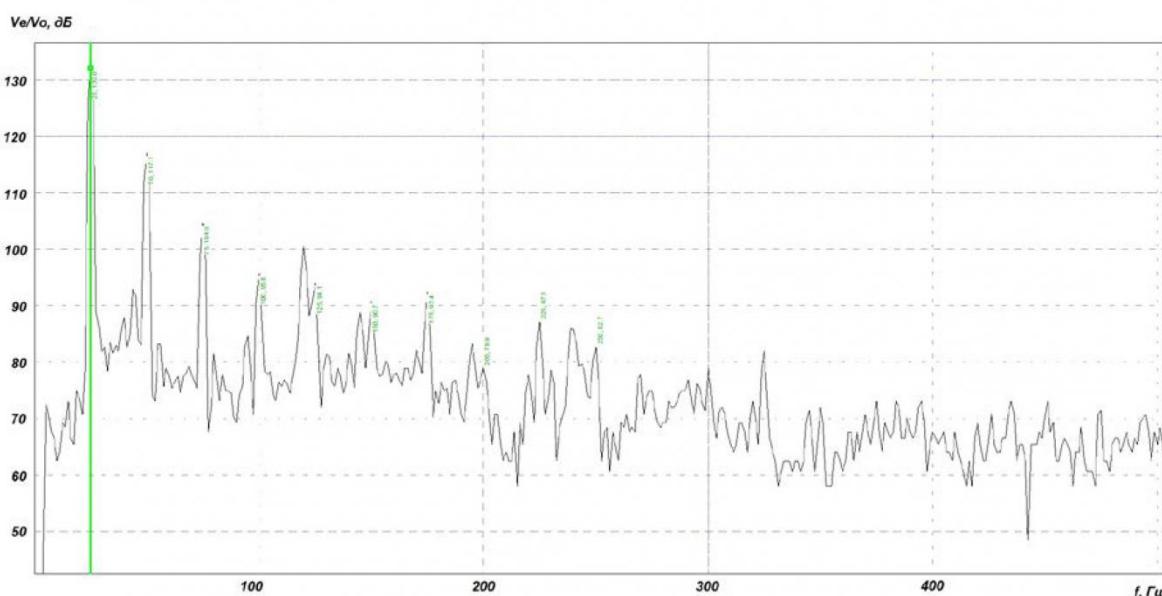


Рис. 4 – Недопустимый уровень дисбаланса ротора генератора подъема экскаватора ЭКГ 5А,
 $Ve_{CK3}=40,1 \text{ мм/с.}$

обуславливает факт появления на рынке большого числа прикладных программ для диагностики подшипников качения, которые могут быть выполнены как в виде отдельных калькуляторов, так и в виде расчетных блоков или модулей в составе мощного программного обеспечения.

Некоторые дефекты подшипников (такие как многогранность или трещины внутреннего кольца) проявляют себя на гармониках оборотной частоты вала, что значительно затрудняет их точную идентификацию, т.к. иногда эти же составляющие спектра отвечают за совершенно иные процессы. Именно для решения подобных задач идеально подходят другие методы вибродиагностического контроля – такие как экспресс (не позволяет точно определить тип дефекта, однако с 99% точностью дает верные рекомендации о замене дефектного узла) или анализ огибающей, который позволяет выявить четкую связь между глубиной модуляции сигнала и техническим состоянием подшипника.

Наиболее опасным дефектом преобразовательного агрегата, на вопросах проблематики диагностики которого необходимо сделать акцент в настоящей работе, является дисбаланс ротора. Анизотропия материалов, применяемых в конструкции электрических машин, придает некоторые специфические особенности процессу распространения вибрационных волн при дисбалансе. Горизонтальная компонента вибрации, генерируемая при работе агрегата с жестким ротором, может заметно преобладать над вертикальной и осевой составляющей механических колебаний, что является косвенным признаком наличия неуравновешенности ротора генератора.

Несмотря на этот факт, признаки дисбаланса должны присутствовать во всех направлениях пространственного положения агрегата, только это может служить фактором, подтверждающим наличие развитого повреждения.

Кроме того, в этом контексте нельзя не упомянуть эффект «теплового дисбаланса» – достаточно распространенного дефекта, встречающегося на генераторных группах экскаваторов типа ЭКГ. В общем виде, тепловой неуравновешенности ротора свойственны все основные признаки механического дисбаланса, с той разницей, что каждому определенному тепловому режиму соответствует определенная вибрация.

Важнейшим диагностическим признаком наличия тепловой неуравновешенности является существенный рост параметров вибрации на первой критической частоте при выбеге нагреветого ротора по отношению к величине этой компоненты при разгоне холодного ротора или выбеге не успевшего прогреться ротора [1].

При решении вопроса о подтверждении наличия теплового дисбаланса необходимо обязательно принимать во внимание тот факт, что схожими диагностическими признаками обладают и другие дефекты механической природы – на гармонический состав спектра при нарушении соосности валов или структурном резонансе системы может оказывать существенное влияние величина температурных полей при разогреве деталей агрегата.

Сочетание таких высоконагревательных процессов, как развитый дисбаланс ротора и расценитровка валопровода, неминуемо приведет к значительному росту величин параметров вибрации, что влечет за собой переход агрегата в недопустимое техническое состояние, характеризующееся повышенной вероятностью возникновения аварийных ситуаций (см. рисунок 4).

Нередко на генераторных группах экскаваторов типа ЭКГ специалистами по вибродиагностике фиксируются уровни эффективного среднеквадратического значения виброскорости порядка 30...50 мм/с, что превышает предельно допустимую величину в 3...5 раз [4, 5].

Такой уровень вибрации угрожает возможностью разрушения валопровода, отрыва генераторов от опор и, как следствие, самопроизвольного смещения агрегата. Такая аварийная ситуация представляет реальную угрозу жизни и здоровью бригады экскаватора и обслуживающего персонала.

В случае выявления значительного превышения допустимых уровней вибрации на динамическом оборудовании карьерного экскаватора его эксплуатация должна быть запрещена до полного устранения причин, вызвавших такое превышение.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что для диагностики технического состояния генераторных групп экскаваторов типа ЭКГ наиболее эффективным является применение комплексного подхода, основу которого безусловно должен составлять спектральный анализ параметров вибрационной волны в расширенном частотном диапазоне.

Кроме того, хорошо зарекомендовал себя метод экспресса, применяемый для проведения экспресс-диагностики подшипников качения, анализ огибающей, метод траектории/процессии движения ротора.

В некоторых случаях, когда необходимость этого обеспечена рабочими характеристиками преобразовательного агрегата некоторых моделей карьерных экскаваторов, целесообразно применение анализа характеристики разгона/выбега агрегата для проведения четкой ассоциации параметров сигнала с дефектами электрической природы или структурного резонанса системы.

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, изд-во «У Никитских ворот». – 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. Буцкин.// Горное оборудование и электромеханика. - № 2, 2013. – С. 45-47
4. РД 15-14-2008. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов.
5. ГОСТ ИСО 10816-(1-3). Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях.

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 «Куз-
бассРИКЦ», эксперт высшей квали-
фикации системы ЭПБ ТУ ОПО.
Email: rikc96@rambler.ru