УДК 53.083(430.1)

П. Б.Герике

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ЛЕБЕДОК ЭКСКАВАТОРОВ ТИПА ДРАГЛАЙН ПО ПАРАМЕТРАМ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Безопасная эксплуатация горной техники является одной из приоритетных задач развития угольной и горнорудной отраслей промышленности России. Сделать работу обслуживающего персонала максимально безопасной, улучшить экономические показатели работы, оптимизировать логистику и складское хозяйство – вот далеко не полный перечень вопросов, остро стоящих перед предприятиями на сегодняшний день.

Экскаваторы типа ЭШ, производства Новокраматорского машиностроительного завода, остаются одними из самых востребованных машин, эксплуатируемых на угольных разрезах Кузбасса. Лебедки тяги и подъема являются наиболее нагруженными узлами драглайна. Из всех существующих методов неразрушающего контроля наиболее подходящим для диагностики технического состояния узлов работающей машины является контроль по параметрам механических колебаний, так как наиболее информативным параметром, несущим максимальную информацию о состоянии агрегата, являются механические колебания (вибрации) – упругие волны, распространяющиеся в сплошных средах. Информацию об изменении состояния объекта можно получать практически мгновенно [1, 2].

Определение предельных характеристик допустимого состояния экскаваторного парка Кузбасса, разработка математических моделей развития типовых дефектов и формулирование точных диагностических правил для уникального оборудования угольной промышленности является предметом исследования ученых Сибирского отделения РАН. На примере диагностики технического состояния тяговых лебедок экскаваторов типа ЭШ в данной работе рассматриваются вопросы формирования случайных виброакустических характеристик и особенности проведения расширенного анализа параметров вибрации.

Анализ данных, полученных при обследовании выборки из 30 драглайнов (ЭШ 10/70, ЭШ 11/70, ЭШ 13/50, ЭШ 6/45, ЭШ 20/90) позволил выявить, что основными дефектами динамического оборудования тяговых лебедок являются:

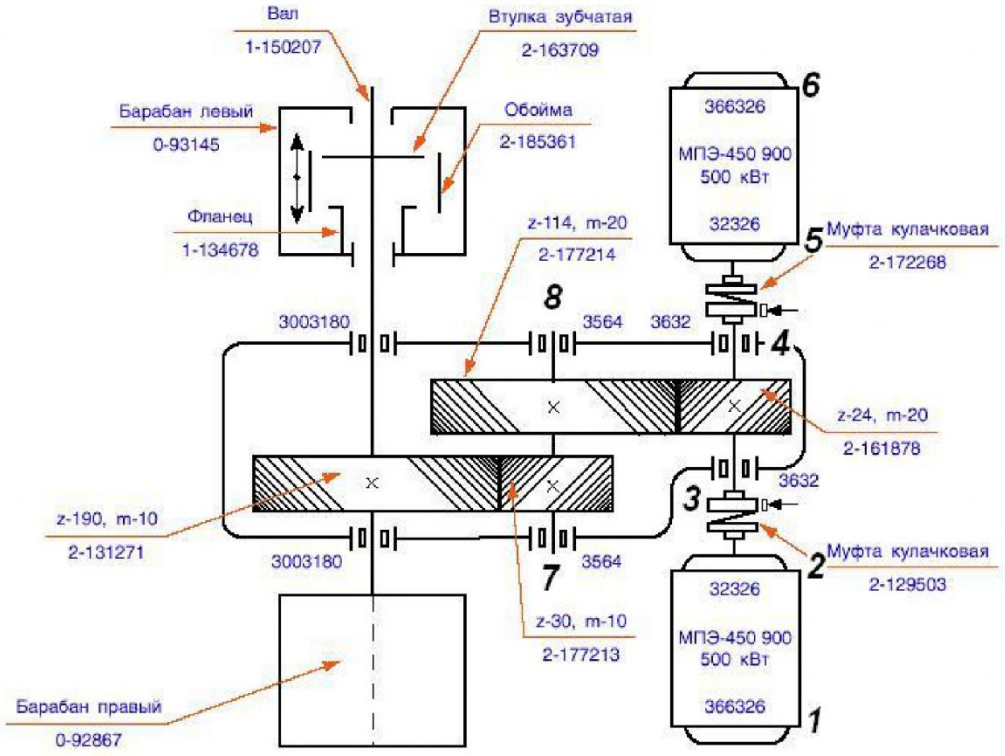

Рис. 1. Схема проведения замеров параметров вибрации тяговой лебедки экскаватора ЭШ 10/70.

- дисбаланс ротора электродвигателя;
- расцентровка электродвигателей с редуктором;
- дефекты подшипниковых узлов (перекосы, ослабления посадок, увеличение зазоров, износы беговых дорожек, тел качения и сепараторов, нарушение режима смазки);
- дефекты элементов соединительных муфт;
- износ зубчатых зацеплений, нарушение соосности и перекос валов редуктора;
- различные дефекты двигателей электромагнитного происхождения (магнитная асимметрия якоря, перекос фаз, смещение в магнитном поле, и т.д.);
- нарушение жесткости системы.

Некоторые примеры анализа параметров виброакустической волны, содержащей информацию о наличии дефектов динамического оборудования драглайнов, приведены на рис. 2-7. Причины их появления различны, часть из них закладывается еще на стадии изготовления, другие являются результатом неквалифицированного монтажа, третья группа дефектов – эксплуатационные, проявляющие себя уже в процессе работы оборудования. Приведенный ниже на рисунке 2 спектр иллюстрирует наиболее распространенные дефекты эксплуатации редукторов тяговых лебедок – абразивный износ зубчатых зацеплений и общее нарушение жесткости системы.

В конструкции лебедки тяги весьма значительную часть статических и динамических усилий воспринимают подшипники качения. Основными методами вибродиагностики, которые наилучшим образом подходят для оценки их технического состояния, являются следующие: прямой спектральный анализ, анализ спектра огибающей, метод ударных импульсов и эксцесс.

Принимая во внимание условия эксплуатации, цикличность работы, изменяющиеся частоты вра-

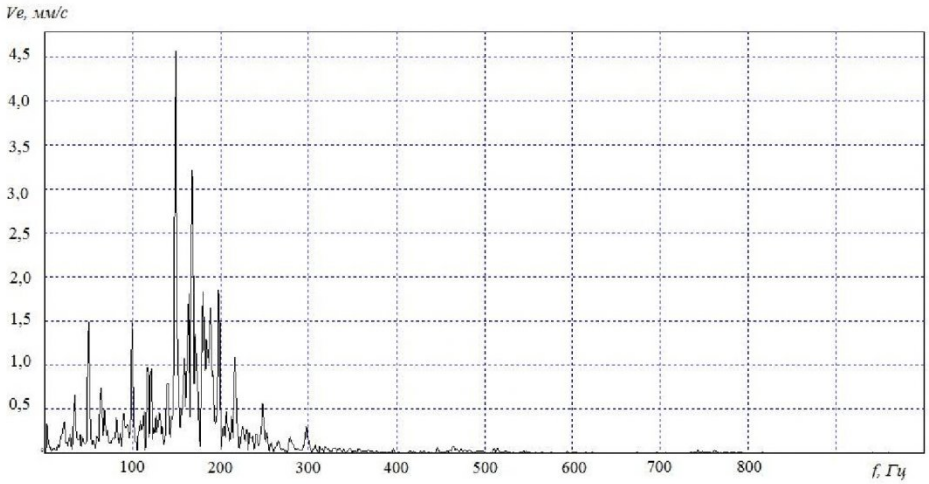

Рис. 2. Некритичный локальный абразивный износ зацеплений зубчатого колеса барабана тяговой лебедки экскаватора ЭШ 15/90. Нарушение жесткости системы.

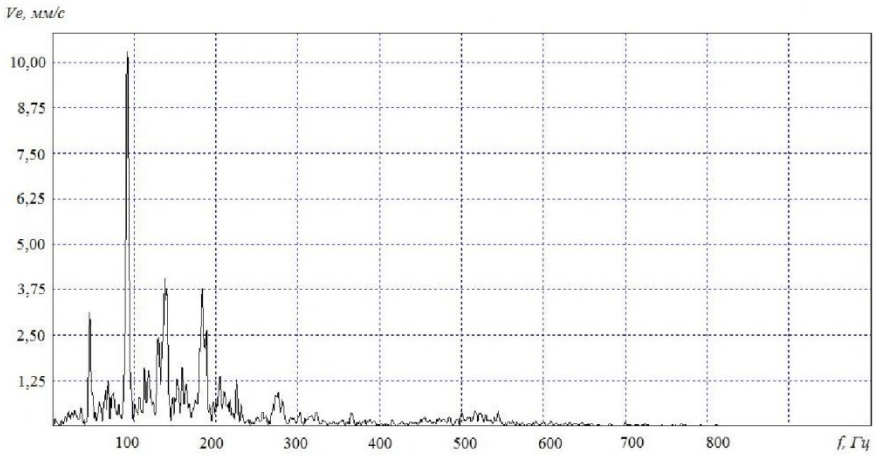

Рис. 3. Нарушение соосности валов и износ зубчатых зацеплений редуктора тяговой лебедки экскаватора ЭШ 15/90.

щения и серьезные ударные нагрузки, которые испытывают узлы лебедки в процессе работы, представляется невозможным использование какого-либо одного метода для диагностики дефектов динамического оборудования тяговой лебедки. Единого метода, который мог бы с одинаковым успехом применяться в рамках экспресс-диагностики, при периодическом мониторинге технического состояния объекта диагностирования и при этом обладать достаточной помехозащищенностью на сегодняшний день не существует [1, 2]. Только одновременное, комплексное использование несколько различных диагностических подходов дает возможность эффективно оценить текущее состояние подъемных и тяговых лебедок экскаваторов типа драглайн.

Примером реализации применения комплексного подхода к диагностике сложных механических систем может служить спектр сигнала вибрации, приведенный выше на рисунке 3. Методом прямого спектрального анализа удалось выявить серьезную неисправность динамического оборудования тяговой лебедки драглайна ЭШ 15/90 – нарушение соосности и перекос валов редуктора. Как следствие – износ и нарушение геометрии зубчатых зацеплений. Результаты спектрального анализа были впоследствии подтверждены кепстральной обработкой исходного сигнала.

Результаты, полученные в ходе проведения мониторинга технического состояния горных машин были приняты за основу при определении критериев предельно-допустимого состояния узлов карьерных экскаваторов, использованы в разработке «Методических рекомендаций по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов» [3].

На примере такого объекта, как одноковшовые карьерные экскаваторы, в данной методике приведен современный подход для осуществления расчета остаточного ресурса безопасной эксплуатации горной техники. Детально обоснована оценка технического состояния динамического оборудования, выполненная на основе комплекса научных исследований. Определены требования к оборудованию и аппаратуре для проведения неразрушающего контроля, сформулированы четкие и ясные критерии предельного технического состояния карьерных экскаваторов.

Примером реализации рекомендаций, изложенных в методике [3] служит классификация

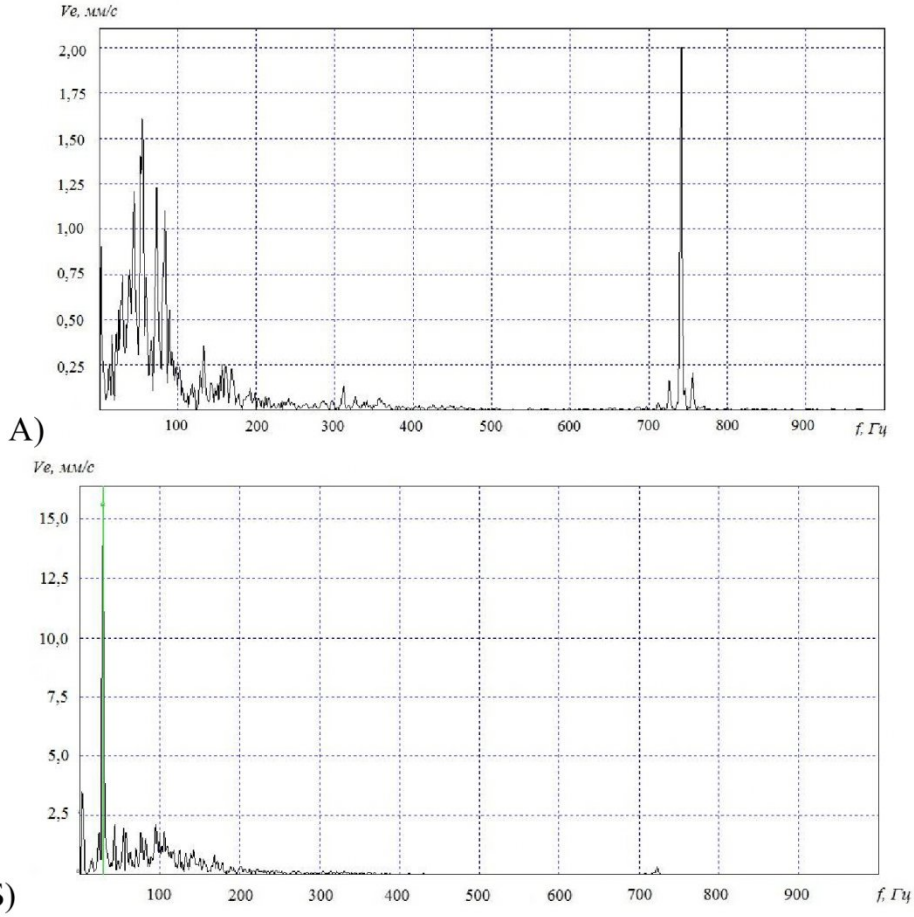

Рис. 4. А) Ослабление посадки подшипника левого электродвигателя тяговой лебедки экскаватора ЭШ 11/70 и нарушение режима его смазки. Дефект элементов соединительной муфты (точка проведения замеров №5, см. схему рис.1).

Б) Недопустимый уровень расцентровки электродвигателя тяговой лебедки с редуктором в горизонтальной плоскости ($Ve_{СКЗ}$=18,6 мм/с).

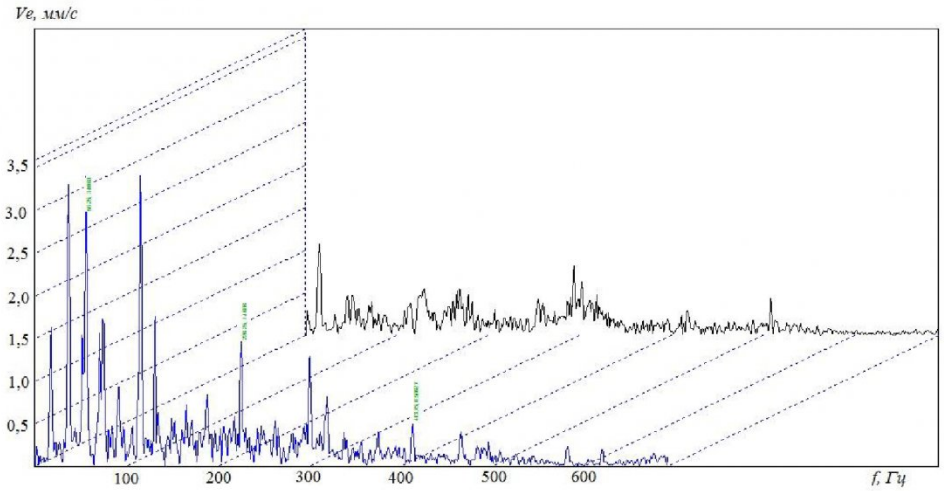

Рис. 5. Динамика развития абразивного износа зубчатых зацеплений первой ступени редуктора тяговой лебедки экскаватора ЭШ 10/70, период измерений 1 год и 3 месяца.

оценки технического состояния тяговой лебедки карьерного экскаватора ЭШ 11/70, спектр виброакустической характеристики которой приведен на рисунке 4Б. В соответствии с разработанными нормами состояние этого узла признано недопустимым. Причиной этого стал дефект монтажа электродвигателя после проведенного ремонта. Выявленная несоосность носит ярко выраженный характер и максимальным образом проявляет себя именно в горизонтальной плоскости пространственного положения, т.н. «горизонтальная» расцентровка. Такой тип дефекта носит массовый характер и связан, прежде всего, с низкой квалификацией специалистов, проводивших монтажные работы.

Другой пример развития типичных неисправностей узлов тяговой лебедки драглайна проиллюстрирован на рисунке 4А. Методом прямого спектрального анализа выявлены частоты, свидетельствующие об ослаблении посадки подшипника электродвигателя и нарушении режима его смазки, а также о развитом повреждении соединительной муфты (см. схему на рис. 1, точка проведения измерений номер 5).

Особо следует указать на тот факт, что результаты выполненных вибродиагностических работ можно принять за основу для прогностического моделирования развития типовых дефектов узлов горных машин. Базы данных виброакустического сигнала, собранные в Институте угля СО РАН содержат информацию не только об единичных замерах вибрации агрегатов горной техники, но и динамику изменения характеристик с течением времени. Пример, приведенный на рисунке 5 иллюстрирует развитие дефекта зубчатых зацеплений редуктора тяговой лебедки. Общий уровень по параметру виброскорости на представленном спектре незначителен, однако подобные процессы со временем не редко приводят к развитию питтинга зубчатой пары.

Организация системы ремонтов на предприятиях угольной промышленности Кузбасса сегодня представляет собой сочетание системы планово-предупредительных ремонтов и так называемого «аварийного обслуживания». Не секрет, что последствия не качественного ремонта, проведенного с нарушением сроков и технологий, с использованием контрафактных/восстановленных запасных частей зачастую критичны для состояния техники. Именно поэтому внедрение обслуживания с использованием методов и средств неразрушающего контроля становится как никогда актуальным.

На рисунке 6 приведен пример спектрального представления полигармонической волны вибрации, которому соответствует один из самых мощных по своей разрушительной энергии колебательных процессов. Степень развития повреждения не так высока, т.к. эксплуатационный дефект, вызванный коррозией ротора, находится в начальной стадии развития. Однако, более высокий общий уровень сигнала неминуемо приведет к серьезным механическим повреждениям этого узла.

При проведении исследований необходимо учитывать цикличность работы лебедки и особенности распространения виброакустической волны (см. рис. 7). Зачастую из-за неравномерной работы механизма (например, машинист использовал различные положения командконтроллера при осуществлении замеров) не удается записать сигнал, содержащий ценную информацию о наличии развитых повреждений динамического оборудования. В этом случае необходимо проводить дополнительные измерения, часть полезной информации можно извлечь из сигнала, полученного в отдаленных точках. Однако следует учитывать тот факт, что полигармоническая волна (особенно в области высоких частот) имеет свойство очень быстро затухать по мере удаления от источника своего возбуждения.

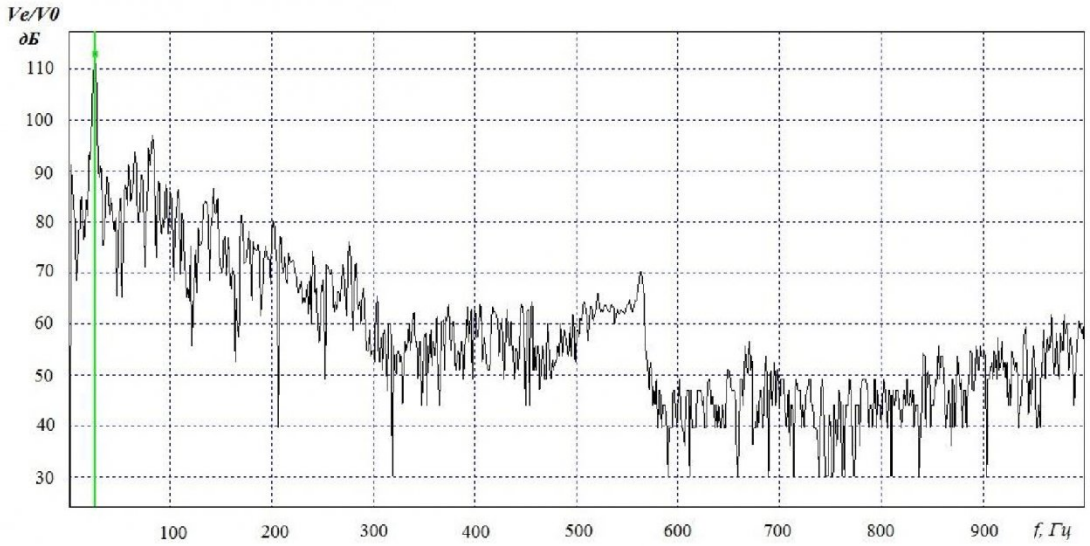

Рис. 6. Некритичный дисбаланс ротора электродвигателя тяговой лебедки экскаватора ЭШ 6/45.

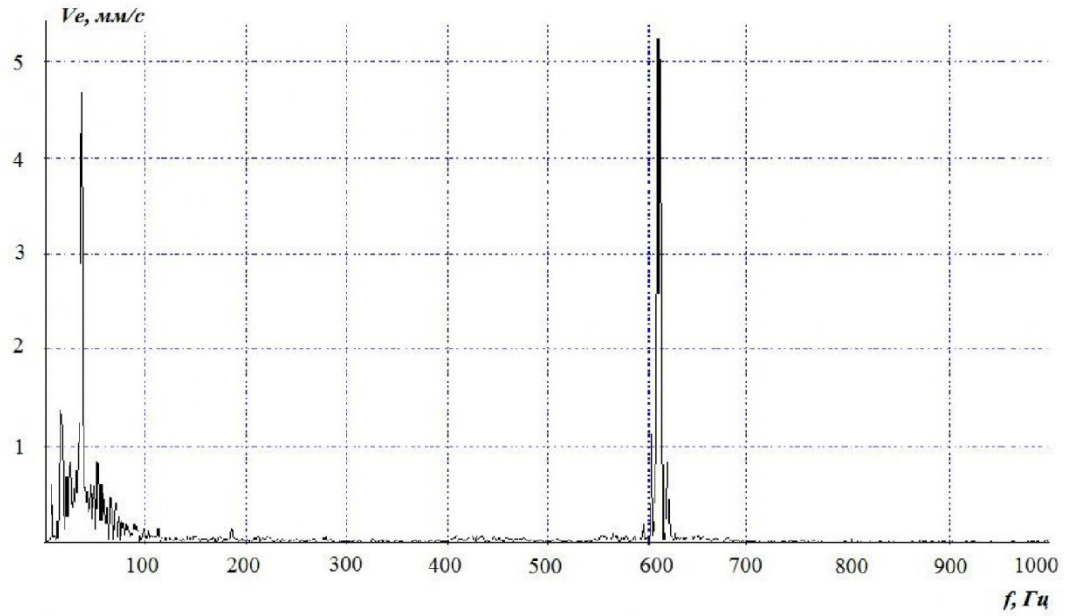

Рис. 7. Перекос вала первой ступени редуктора тяги экскаватора ЭШ 20/90, развитый дефект соединительной муфты. Из-за неравномерности работы тяговой лебедки максимальная амплитуда виброакустического сигнала была получена в осевом направлении со стороны правого электродвигателя.

Подводя итог вышесказанному, следует особо отметить, что на сегодняшний день учеными Кузбасса созданы все наработки, необходимые для внедрения на предприятиях угольной промышленности системы обслуживания горной техники по фактическому техническому состоянию, основными элементами которой являются: неразрушающий контроль технологического оборудования, разработка деградационных моделей развития дефектов техники, внедрение экспертных систем диагностики технического состояния сложных машин. Преимущества системы обслуживания по фактическому состоянию очевидны – это повышение эффективности управления техническим обслуживанием, оптимизация логистических издержек предприятия, минимизация аварийных простоев техники, безопасная эксплуатация производственного оборудования, сокращение эксплуатационных издержек на обслуживание (ремонтные работы проводятся только тогда, когда результаты контроля указывают на их необходимость).

Исторически сложилось, что угольная промышленность являлась и является объектом повышенной опасности [4]. Только переход ремонтных служб эксплуатирующих предприятий на управление техниче-

ским обслуживанием и системой ремонтов по фактическому состоянию позволит решить задачу безопасной эксплуатации горной техники. При системном подходе к использованию современных диагностических методов удастся избежать серьезных аварийных ситуаций и несчастных случаев на производстве, связанных с техническим состоянием оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герике Б.Л.* Диагностика горных машин и оборудования. Учебное пособие. /Б.Л. Герике, Г.И. Козовой, В.С. Квагинидзе, А.А. Хорешок, П.Б. Герике/ Москва, 2012. – 400 с.

2. *Bently D.E., Hatch C.T.* "Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics", Bently Pressurized Press, 2002, P.726

3. РД 15-14-2008. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов.

4. *Клишин В.И.* Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. /В.И. Клишин, Л.В. Зворыгин, А.В. Лебедев, А.В. Савченко/ Новосибирск, 2011. – 524 с.

□ Автор статьи:

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

УДК 53.083(430.1)

П. Б.Герике

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НАПОРНЫХ ЛЕБЕДОК ЭКСКАВАТОРОВ ТИПА ЭКГ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ ПО ПАРАМЕТРАМ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Безопасность проведения горных работ является приоритетной задачей развития угольной промышленности России. Поэтому сегодня перед эксплуатирующими предприятиями как никогда остро стоят вопросы повышения качества обслуживания горной техники и безопасной эксплуатации оборудования.

Карьерные экскаваторы типа ЭКГ на сегодняшний день остаются самыми распространенными машинами, применяемыми в открытых разработках на угольных разрезах и рудниках Кузбасса, часть из них находится в недопустимом техническом состоянии. Согласно федеральному закону № 116-ФЗ [1] все технические устройства, эксплуатирующиеся на опасном производственном объекте и выработавшие свой ресурс, в обязательном порядке подлежат экспертизе промышленной безопасности (ЭПБ ТУ ОПО). Неотъемлемой составляющей процедуры экспертизы является диагностирование технического состояния объекта с применением метода контроля по параметрам механических колебаний. Анализ составляющих виброакустической волны, несущей максимум полезной информации о состоянии узла работающего механизма, является единственным методом неразрушающего контроля, позволяющим без длительного непроизводительного простоя техники определить фактическое техническое состояние машины и динамику его изменения в режиме реального времени [2].

Определение предельных характеристик допустимого состояния экскаваторного парка Кузбасса, разработка математических моделей развития типовых дефектов и формулирование точных диагностических правил для уникального оборудования угольной промышленности является предметом исследования ученых Сибирского отделения РАН. Однако, вопросу особенностей диагностирования напорных лебедок экскаваторов ЭКГ должного внимания ранее не уделялось.

На примере диагностики технического состояния механизма напора экскаваторов типа ЭКГ в данной работе рассматриваются вопросы формирования случайных виброакустических характеристик и особенности проведения расширенного анализа параметров вибрации.

Анализ данных, полученных при обследовании выборки из 30 машин типа ЭКГ 8И, ЭКГ 10, ЭКГ 12,5 и т.д. позволил вы-