© А.А. Беликов, 2006

УДК 622.684.271.616

А.А. Беликов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ МАШИНЫ

Семинар № 19

Износ основного оборудования на открытых горных работах Северо-Западного региона России превышает 70 %. Обновление фондов осуществляется медленнее физического и морального старения техники. При этом условия эксплуатации горных машин ухудшаются: на открытых работах растет глубина карьеров (более 300 м), что ведет к увеличению расстояния транспортирования, загазованности атмосферы. Суммарные простои оборудования увеличиваются, снижается эффективность использования горно-транспортной техники, что определяет и снижение значения коэффициента технического использования отдельных машин и парка в целом. В таблице в качестве примера представлены данные об усредненных значениях коэффициента технического использования основного оборудования на открытых работах Северо-Запада.

Из таблицы следует, что величина коэффициента использования машин является недостаточной. Во многом она зависит от времени, затрачиваемого на плановые и аварийные мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р). Как указывалось выше, значительное число машин имеет срок службы больше нормативного, при этом корректировки планов-графиков ППР с учетом возраста парка на предприятиях практически не практикуется.

Сегодня на горных предприятиях применяемые стратегии организации ремонтов или регламентные, или, что характерно для малых предприятий добычи строительных материалов, – аварийные системы ремонтов, при которых

Показатели работы горно-добывающего и траспортного оборудования

Наименование оборудования	Коэффициент использования
Экскаваторы	
ЭКГ-8И, ЭКГ-10	0,74
ЭКГ-12,5	0,7
RH 90C	0,79
RH 90C	0,82
Буровые станки	
СБШ-250МН –32	0,7
D60KS	0,62
D60KS	0,67
Карьерные автосамосвалы	
БелАЗ-7523	0,64
БелАЗ-7522, 75405	0,6
БелАЗ-75145	0,84
Komatsu HD-1200	0,78
Caterpillar Cat-785	0,89
Haulpak – 510E	0,94

восстановление отказа проводится по факту его появления. Эта ситуация, к сожалению, является характерной и обусловлена малым фондом денежных средств, выделяемых на ремонт и обновление горной техники.

Отказ или нарушение режима работы какого-либо узла горной машины приводит к нарушению ее функционирования в целом, а, следовательно, к выведению ее из эксплуатации. Ущерб от внепланового ремонта горной машины, в первую очередь, формируется за счет невыполнения заданных функций, а далее - уже за счет привлечения ремонтников и закупку (изготовление) запасных частей.

Снизить вероятность отказа машины целесообразно проведением систематического контроля ее состояния, при этом решаются следующие основные задачи:

- обеспечение штатного режима эксплуатации и работы агрегатов машины;
- определение фактических показателей режимов работы;
- установление и анализ причинно-следственных связей возникновения отклонений в работе (отказов).

Решение этих задач обычно требует привлечения ряда специалистов в области диагностирования, дефектоскопии, наладки и т.д. Опыт проведения работ в области оценки фактического состояния горных машин позволяет говорить о наибольшей эффективности виброакустической диагностики роторных механизмов, а также ультразвукового неразрушающего контроля металлоконструкций горных машин.

По нашему мнению, данные методы имеют наиболее развитое методологическое оснащение, широкую гамму приборного оснащения, а также высокую универсальность.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования в промышленности.

Практически мгновенная реакция вибросигнала на изменение состояния оборудования – незаменимое качество в аварийных ситуациях, когда определяющим фактором является скорость постановки диагноза и его принятия.

В оборудовании роторного типа характер взаимодействия элементов подчинен периодическому закону, который в наиболее простом виде проявляется в виде полигармонической вибрации:

$$x(t) = \sum_k A_k \cdot \cos(k\omega_r t + \varphi_k)$$

Информативными параметрами в такой модели являются значения амплитуд дискретных составляющих спектра на частоте вращения ротора и ее гармониках и скорость их изменения при увеличении наработки механизма [1].

Помимо импульсной модели виброакустического сигнала, позволяющей диагностировать зарождающийся дефект, оценка состояния роторного механизма может осуществляться по общему уровню вибрации. Разработанные международные (VDI2056, ISO 2372, ISO 3945 и др.) и российские стандарты и нормативно-ме-тодические рекомендации на предельные уровни вибрации основаны на допущении, что подобные (по мощности, высоте оси вращения, частоте вращения ротора, способам установки, условиям эксплуатации) агрегаты имеют примерно одинаковые допустимые значения вибрации при достижении своего предельного состояния.

При оценке вибрации агрегатов, с вращающимся ротором в качестве нормируемых параметров в большинстве

случаев устанавливается один из следующих:

- среднеквадратическое значение виброскорости (СКЗ), V_e , мм/с;
- среднеквадратическое значение виброскорости в октавной полосе частот, включающей в себя частоту вращения ротора, V_{ep} , мм/с;
- среднеквадратическое значение виброскорости на элементах крепления агрегата к фундаменту на месте установки, $V_{еф}$, мм/с;

Процесс получения виброакустических сигналов при диагностировании силовых элементов горной машины может осуществляться в следующей последовательности:

- снятие сигнала и его преобразование в электрический сигнал (с помощью датчиков, например пьезоэлектрических);
- усиление электрических сигналов (интегрирующий усилитель);
- анализ спектра вибраций;
- регистрация сигналов и их накопление (магнитофон, компьютер и т.д.).

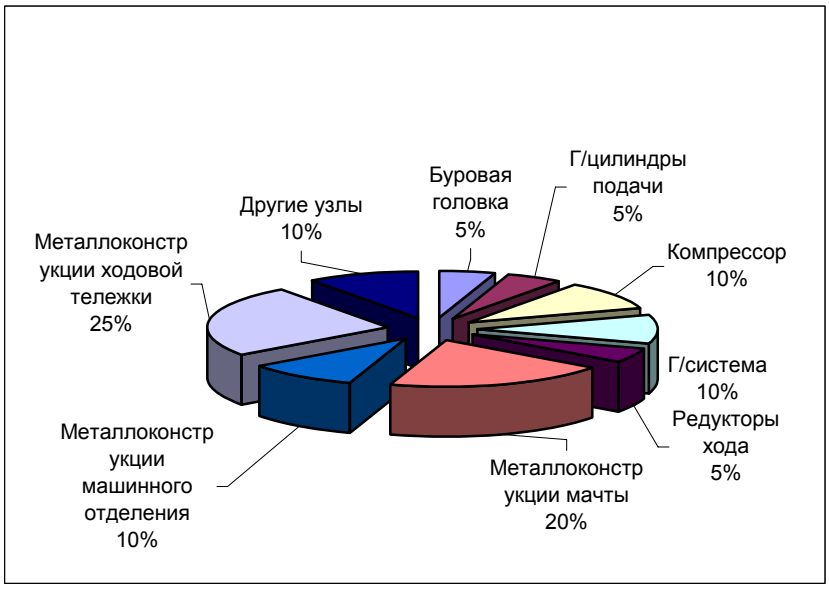
При этом решается вопрос выделения наиболее информативных точек получения информации, проводится спектральный анализ измеренных сигналов, сравнение измеренных диагностических параметров с пороговыми уровнями (или установление пороговых уровней по статистике сигналов, снятых с исправных элементов). Для расчёта значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения используется массив статистических данных, полученных при замерах уровней диагностических параметров объектов (не менее 10 объектов). Полученные пороговые значения уточняются по мере накопления статистической информации о данном объекте.

Регулярное проведение измерений параметров вибрации оборудования позволяет выявлять неисправности на ранней стадии возникновения, отслеживать динамику их развития, определять рациональные сроки проведения ремонтов. Систематический контроль состояния оборудования с оценкой остаточного ресурса агрегата позволит в перспективе перейти к адаптивной системе ТО и Р горного оборудования.

Согласно рекомендациям ряда производителей приборов и программного обеспечения виброакустической диагностики (Пергам, ВАСТ, Вибро-Центр, Промсервис, Инкотес, НПП «РОС», и др.), измерения выполняются на работающем оборудовании в том режиме, который представляет наибольший интерес для диагностики. Для получения достоверного прогноза по сроку вывода оборудования в ремонт необходимо проводить измерения в одинаковом режиме работы агрегата одним и тем же виброметром.

Измерения на каждом подшипнике оборудования с горизонтальной осью вращения проводятся с последовательной фиксацией оси вибродатчика и измерения вибрации в трех направлениях – «Вертикальном», «Горизонтальном» и «Осевом». Наиболее характерным узлом с горизонтальной осью вращения является пятимашинный преобразовательный агрегат экскаваторов ЭКГ. Опыт проведения виброакустического диагностирования данного агрегата позволяет говорить о значительном влиянии на формирование фактического эквивалентного корректированного уровня виброскорости состояния системы смазки, качества крепления оборудования к корпусу противовеса, а также нарушении балансировки механизмов.

Для оборудования с вертикальной осью вращения измерения на каждом



Распределение отказов по узлам СБШ-250МН

подшипнике также проводятся триж-ды - в горизонтальной плоскости в двух взаимоперпендикулярных направлениях и в вертикальном (осевом) направлении. Наиболее характерным узлом с вертикальной осью вращения является вращатель бурового станка (например СБШ-250МН), при этом на формирование фактического эквивалентного корректированного уровня виброскорости чаще оказывает наибольшее воздействие качество смазки узлов и механизмов.

Анализ опыта эксплуатации оборудования на открытых работах показывает значительную долю отказов конструктивных элементов в общем потоке аварийных отказов. Нами установлено, что процент отказов металлоконструкций значителен - порядка 7-10 % от общего потока отказов оборудования. Поэтому своевременное выявление зарождающихся дефектов металлоконструкций является весьма актуальным.

Отказы металлоконструкций в свою очередь можно классифицировать по четырем основным видам дефектов:

- трещины усталости, образующиеся в результате высоких переменных напряжений;
- коррозионное разрушение как очаговое, так и межкристаллитное;
- трещины, образующиеся в результате перегрузок;
- механические повреждения.

На рисунке в качестве примера приведена диаграмма распределения отказов по узлам буровых станков типа СБШ-250МН в условиях ОАО «Апатит».

Из диаграммы следует, что суммарный процент отказов металлоконструкций данных станков, эксплуатирующихся на апатитовых рудниках, составляет 55 % от общего потока отказов узлов и агрегатов станка. Таким образом, актуальность систематического применения методов неразрушающего контроля

фактического состояния металлоконструкций оче-видна.

Ультразвуковой контроль проводится после визуального осмотра несущих конструкций в районах с наиболее вероятными нарушениями сплошности сварных соединений и основного металла возникающими в процессе длительной эксплуатации оборудования.

Для определения толщины контролируемых элементов используется ультразвуковой толщиномер, а результаты толщинометрии используются для настройки ультразвукового дефектоскопа. По факту дефектоскопии каждой зоне контроля дается оценка в баллах, при этом наибольший балл – 3 оценивает элемент как бездефектный, амплитуда эхо- сигнала от которых не превышает браковочный уровень.

Таким образом, опыт применения рассмотренных методов диагностирования и дефектоскопии позволяет говорить об их достаточном соответствии требованиям современных подходов к оценке фактического состояния горных машин, при этом весьма важно систематическое их применение, что позволит снизить вероятность возникновения внезапных отказов узлов и агрегатов машин повысив тем самым общую эффективность их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов А.Н., Герике Б.Л., Муравьев В.В. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов - Новосибирск, Наука, 2003.

Коротко об авторах

Беликов А.А. – Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).

© К.А. Васильев, П.Н. Махараткин, 2006

УДК 622.684:621.793(047)

К.А. Васильев, П.Н. Махараткин

БЫСТРОСМЕННАЯ ФУТЕРОВКА КУЗОВОВ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации большегрузных самосвалов, является интенсивный износ кузова при загрузке и разгрузке транспортируемого груза. Без применения мер, защищающих кузов от износа, срок его службы составляет, в среднем, один год. Замена изношенного кузова на новый сопряжена с существенными финансовыми затратами для предприятий, эксплуатирующих самосвалы.

Одним из наиболее эффективных способов защиты кузова от износа является противоизностная футеровка его внутренней поверхности. Заводы-изготовители, такие как, например «БелАЗ» поставляют самосвалы с нефутерованными кузовами, которые предприятиями-потребителями футеруются собственными силами на имеющихся у них рембазах. Для футеровки кузовов чаще всего используются металлические листы, закрепленные на его внутренней поверхности с помощью электросварки. Однако срок службы металлической футеровки не превышает полутора-двух лет. Замена изношенной футеровки осуществляется «сдуванием» сварных швов крепления футеровки газосваркой и ее заменой на новую. Процесс замены футеровки весьма трудоемок. Повторная футеровка кузова с использованием для ее крепления электросварки ослабляет днище и стенки кузова, вследствии нарушения структуры металла кузова термическим воздействием электро- и газосварки.

Исследованиями процесса износа кузова самосвала, проведенными на кафедре горных транспортных машин СПГГИ (ТУ), установлено, что кузов самосвала имеет две разнохарактерные по виду и интенсивности износа зоны. К первой из них относится центральная зона днища кузова, износ в которой в значительной степени происходит вследствие ударных воздействий на нее кусков загружаемого материала и, в меньшей степени, вследствие фрикционного износа при разгрузке транспортируемого груза. Ко второй зоне относится хвостовая часть днища и стенки кузова, у которых превалирует фрикционный износ от воздействия разгружаемого из кузова материала.

По результатам исследований был сделан вывод о необходимости разработки конструкции быстросменной футеровки с механическим безболтовым или ограниченным по количеству болтов болтовым креплением элементов футеровки к кузову самосвала. При этом конструктивное решение футеровки должно отвечать следующим требованиям:

- футеровка центральной зоны днища кузова, его хвостовой части и бортов должна состоять из унифицированных элементов с различными противоизносными свойствами футеровочного покрытия, учитывающего характер и интенсивность износа соответствующих зон кузова;
- крепление футеровочных элементов к кузову самосвала должно осуществляться с использованием минимального количества болтов, не нарушающих прочность кузова;

• объем футеровки кузова должен составлять не более 5 % от общего объема кузова;

Критерием эффективности конструкции футеровки являются технико-экономические показатели ее использования, определяемые первоначальной стоимостью футеровки, сроком службы футеровочного покрытия, стоимостью заменяемых элементов и трудозатратами на их замену.

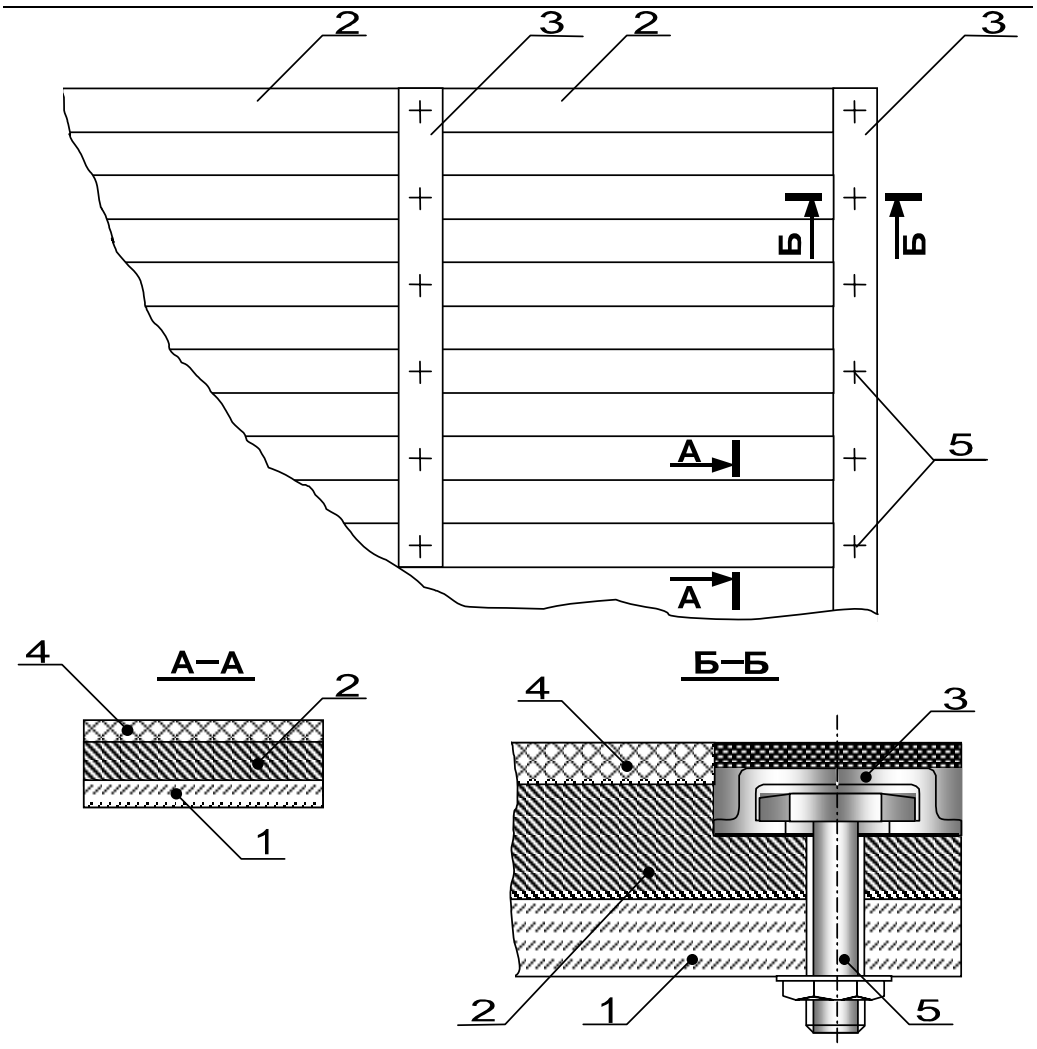
На основе анализа возможных конструктивных решений футеровочных элементов и способом их крепления к кузову самосвала было принято решение о разработке конструкции футеровки для кузова самосвала, состоящей из унифицированных модулей в виде продольных металлических полос, уложенных в кузове вплотную на поверхность которых нанесен слой футеровки из износостойкого полимера. Крепление модулей к кузову самосвала осуществляется прижимом их концов поперечными профильными балками, также футерованными слоем полимера и имеющими паз для заводки и размещения по длине балок крепежных болтов.

Конструктивная схема футеровки, разработанная в соответствии с указанными выше положениями, представлена на рисунке. Модульная конструкция футеровки обеспечивает простоту ее монтажа, быстросменность при износе, как отдельного модуля, так и всей футеровки в целом, что выгодно отличает ее от применяемого в настоящее время крепления электросваркой. Ограниченное количество болтов, используемое для крепления футеровки, практически не нарушает прочность кузова, в отличие от электросварки.

Основным элементом футеровки, от которого зависит эффективность, и целесообразность ее применения является полимерное противоизносное покрытие модулей. Из известных полимерных покрытий с высокими износостойкими свойствами была рассмотрена возможность использования для футеровки поверхности модулей полиуретана и высокомолекулярного полиэтилена. Преимущество полиуретана заключается в освоенном производстве различных его композиций и технологии нанесения на металлическую поверхность. Из производимых научно-производствен-ной фирмой «С.П.Б.» (г. Санкт-Петербург) полиуретановых композиций заслуживает внимания композиция «Дуотан». Композиция представляет собой двухкомпонентную систему горячей полимеризации на основе простых или сложных полиэфиров. Композиция отличается чрезвычайно высокими и противоизностными характеристиками и достаточно коротким технологическим циклом. Дуотан обеспечивает долгий срок службы в жестких условиях эксплуатации. Аналогичными свойствами обладают композиции, созданные фирмой «РВСК» в Санкт-Петербурге.

Недостатком полиуретанового покрытия является достаточно высокая его стоимость (около 100$ за килограмм).

Высокомолекулярный полиэтилен является весьма перспективным материалом для футеровки модулей кузова самосвала. Он обладает высокими противоизносными свойствами, превышающими износостойкость углеродистой стали, и низким коэффициентом



Фрагмент футеровки днища кузова самосвала: *1* - днище; *2* - продольный модуль; *3* - прижимные балки футеровки; *4* - футеровка металлического полосового основания модуля; *5* - болт крепления прижимной балки

трения, что весьма важно для снижения фрикционного износа хвостовой части, днища кузова.

Высокомолекулярный полиэтилен обладает высокой прочностью, показателем которой является его использование, при ориентированных волокнах для изготовления бронежилетов. При этом его коэффициент трения, сопоставим с наиболее низким на сегодня коэффициентом трения фторопласта.

За рубежом высокомолекулярный полиэтилен широко используется для изготовления опор скольжения в узлах загрузки ленточных конвейеров и для футеровки бункерных устройств. При этом стоимость сырья высокомолекулярного полиэтилена в условиях его

опытного производства на отечественных заводах составляет не более 2$ за килограмм. Однако на сегодня технология промышленных изделий из него еще недостаточно освоена, поскольку для этого необходимо использовать метод спекания или горячего прессования. За рубежом (ФРГ, Швеция) освоена технология нанесения высокомолекулярного и сверхвысокомолекулярного полиэтилена на резиновое основание опор скольжения. Нет сомнения, что при соответствующем маркетинговом обосновании отечественные промышленные предприятия освоят технологию изготовления модулей для футеровки кузовов самосвалов, учитывая широкую потребность футеровки для предприятий, использующих большегрузные самосвалы. Физико-механи-ческие свойства и полиуретана и высокомолекулярного полиэтилена приводятся в литературе, на основе лабораторных исследований, проведенных с использованием машин трения, и экспериментальных исследований их применения в условиях, отличных от условий эксплуатации большегрузных самосвалов. Поэтому применение и полиуретана, и высокомолекулярного полиэтилена требуют проведения исследований в промышленных условиях эксплуатации большегрузных автосамосвалов для оценки технико-экономических показателей их применения.

Коротко об авторах

Васильев К.А. – кандидат технических наук,
Махараткин П.Н. – кандидат технических наук,
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. А.А. СКОЧИНСКОГО			
ШУБНЯКОВ Алексей	Обоснование рациональных параметров гидроабразивного агрегата для резания горных пород и других твердых материа-	05.05.06	к.т.н.

Андреевич	лов		