

Герике Борис Людвигович^{1,2}, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, **Дрозденко Юрий Вадимович**², канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, **Ермаков Александр Николаевич**², канд. техн. наук, старший научный сотрудник, **Артамонов Павел Викторович**³, канд. техн. наук, доцент, **Копытин Денис Валерьевич**², соискатель

¹ Федеральное исследовательское учреждение «Центр углей и угольных технологий» Сибирского Отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10.

² Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

³ Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2

E-mail: duv.gmik@kuzstu.ru

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ ПЛАСТОВ

Аннотация: добыча полезных ископаемых открытым способом связана со значительными потерями, поэтому поиск решений, которые позволят извлекать часть забалансовых запасов, является актуальной задачей. Комплекс Глубокой Разработки Пластов (КГРП) – это система, сочетающая в себе использование подземной технологии добычи полезного ископаемого с открытой поверхностью.

Применение комплексов типа SHM для открыто-подземной разработки угольных пластов остро ставит проблему перехода от системы планово-предупредительных ремонтов к системе профилактического обслуживания по фактическому техническому состоянию узлов и агрегатов комплексов, которое определяется на основе использования диагностических методов. Наиболее приемлемым методом функциональной диагностики является метод, базирующийся на основе анализа механических колебаний, поскольку при изменении технического состояния машины вибрационная сигнатура также изменится, и изменение вибрационной сигнатуры может быть использовано для обнаружения зарождающихся дефектов до того, как они станут критическими.

На основе результатов диагностического обследования комплекса SHM-29 построены опорные спектральные маски для каждого из узлов и агрегатов, нормирующие уровень интенсивности вибрации в различных частотных областях спектров, которые были использованы для оценки их технического состояния. По результатам проведенного анализа были выявлены дефектные агрегаты, для которых были предложены мероприятия по их техническому обслуживанию.

Ключевые слова: открыто-подземная разработка, комплекс типа SHM, оценка технического состояния, техническое обслуживание по фактическому состоянию, вибродиагностика.

Информация о статье: принята 3 августа 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-36-44

Введение

Анализ использования основного технологического оборудования при добыче угля открытым и подземным способами свидетельствует об усиливающейся зависимости шахт и разрезов от поставок импортного оборудования и запасных частей к нему [1, 2]. Особенно это заметно при ведении открытых горных работ, где доля импортного оборудования достигает величины 84%, а при комбинированном открыто-подземном способе – 100%.

В этих условиях особо остро становятся вопросы технического обслуживания и ремонта этого оборудования [3]. Это связано с тем, что изменяются подходы к эксплуатации горношахтного и горнотранспортного оборудования,

усложняется сама техника и технологические процессы ее эксплуатации, ужесточаются требования промышленной и экологической безопасности. Большое количество разнообразных узлов и агрегатов, входящих в состав этого оборудования, имеют скрытый характер зарождения и развития неисправностей, что нередко становится причинами аварийных ситуаций, которые могут сопровождаться значительным экономическим и социальным ущербом, а также загрязнением окружающей среды [4]. Ряд аварий и техногенных катастроф различного масштаба последних



Рис. 1. Общий вид комплекса Superior Highwall Miners
Fig. 1. General view of the Superior Highwall Miners complex

Для решения всего спектра задач, связанных с повышением надежности работы оборудования и сокращением затрат на его обслуживание и ремонт, одной диагностической информации недостаточно [5, 6, 11]. Необходима реализация целого комплекса мероприятий, объединенных в рамках общей стратегии эффективной эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования. К таким мероприятиям относятся:

- достоверная оценка технического состояния всего парка технологического оборудова-

лет заставляет по-новому переосмысливать требования к достоверности оценки текущего состояния оборудования и определению его остаточного ресурса с учетом последних достижений науки в области технической диагностики [5, 6].

На сегодняшний день на угольных предприятиях Кузбасса за основу принята система планово-предупредительных ремонтов оборудования, основной задачей которой является обеспечение работоспособности оборудования в течение заданного времени при минимальных затратах труда и материальных ценностей. Независимо от условий работы деталей и сборочных единиц горной техники ремонты планируются по одному из критериев:

- календарному (или машинному) времени работы;

- объему переработанной горной массы.

Все это приводит [7...10]:

- к недоиспользованию ресурса отдельных деталей, агрегатов и сборочных единиц горного оборудования;

- к выполнению увеличенного объема разборочно-сборочных работ, не соответствующих техническому состоянию механизмов и устройств, и в то же время к увеличению вероятности быстрого изнашивания деталей, вызываемой приработкой из-за частой разборки и сборки;

- к значительному времени нахождения горного оборудования в ремонте.

Система планово-предупредительных ремонтов во многих случаях может быть принята за основу при обслуживании несложных машин и механизмов, но для основного безрезервного оборудования ее применение нецелесообразно. Поэтому дальнейшее развитие системы ремонтов должно предусматривать:

- установление дифференцированных критериев оценки ресурса деталей, сборочных единиц и агрегатов горного оборудования, учитывающих конкретные условия их эксплуатации;

- назначение конкретных сроков и объемов работ при ремонтах горного оборудования в зависимости от фактического технического состояния его деталей, сборочных узлов и агрегатов.

дования;

- своевременное выявление неисправностей и прогноз остаточного ресурса с использованием всего арсенала методов и средств технического диагностирования в рамках распределенного мониторинга;

- контроль агрегатов на всех этапах жизненного цикла (входной контроль в процессе монтажа, приемо-сдаточные испытания, эксплуатация, предремонтный контроль, ремонт, послеремонтный контроль).

Постановка задачи

В мировой практике уже несколько десятилетий успешно применяется система разработки «Superior Highwall Miners» для добычи каменного угля открыто-подземным способом [12, 13]. Модели SHM-28 и SHM-29, произведенные фирмой SHM (г. Беркли, штат Вирджиния, США) являются первыми машинами такого рода, работающими в России. Эти системы являются идентичными и позволяют разрабатывать уголь из борта карьера на глубину до 270 м. Регулируемая высота качания исполнительного органа от 1,2 м до 3 м позволяет производить эффективную выемку угля из пластов мощностью от 1,3 до 3,0 м.

Опыт эксплуатации двух комплексов SHM-28 и SHM-29 на разрезе «Распадский» в начале 21 века [14, 15] показал хорошие результаты по добыче угля комбинированным открыто-подземным способом, но показал и некоторые недостатки, присущие этому комплексу. Так, отсутствие сервисной службы требовало повышенного внимания к техническому состоянию узлов и агрегатов комплексов, выход из строя которых приводил к продолжительным простоям и значительным затратам времени и валютных средств для восстановления их работоспособности. Это в свою очередь потребовало создания и внедрения системы профилактического обслуживания комплексов SHM на базе результатов диагностического обследования технического состояния и прогнозирования его изменения.

Методика проведения исследований

Для контроля технического состояния механического оборудования хорошо зарекомендовал себя метод вибрационного контроля [7, 10, 16],

Таблица 1. Опорные спектральные маски
Table 1. Reference spectral masks

Частотная полоса	Тревога	Предупреждение
	Коэффициенты к среднеквадратическому значению виброскорости $V_{СКЗ}$	
10... 1000 Гц	1	0,63
2 (10) Гц ... $1,5 \times f_r$	0,75	0,50
$2 \times f_r$	0,50	0,32
$(3...4) \times f_r$	0,32	0,20
$(5...20) \times f_r$	0,40	0,25
$(21...50) \times f_r$	0,25	0,20
Пиковое значение виброускорения, $m \cdot c^{-2}$		
1 ... 10 кГц	40	20

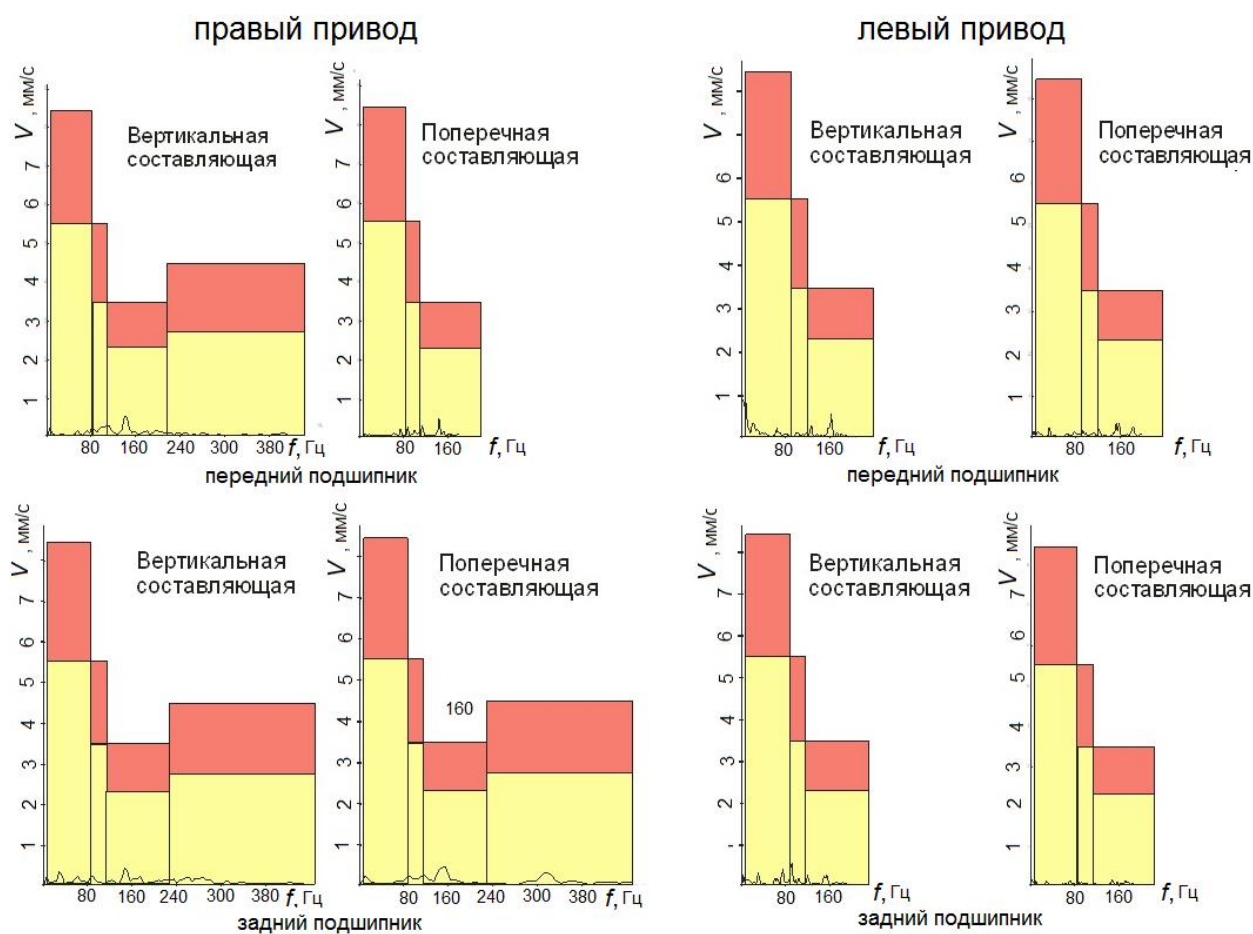


Рис. 2. Обобщенные спектральные маски для приводов режущей части комплекса Superior Highwall Miners
Fig. 2. Generalized spectral masks for drives of the cutting part of the Superior Highwall Miners complex

который позволяет обнаруживать до 77% возможных износных отказов. Вибрационная диагностика применяется:

- для контроля текущего состояния оборудования;
- для разделения множества возможных технических состояний агрегата на два подмножества – исправных и неисправных;
- для обнаружения возможного дефекта на ранней стадии и прогнозирование его развития во времени;

- для снижения риска возникновения аварийной ситуации;
- для оценки остаточного ресурса, сроков и объемов ремонтных работ.

Ряд методов вибродиагностики основан на том, что определенные механические дефекты по мере развития генерируют вибрацию в определенных частотных полосах с определенным соотношением величин параметров. Таким образом, производя разбиение частотного диапазона

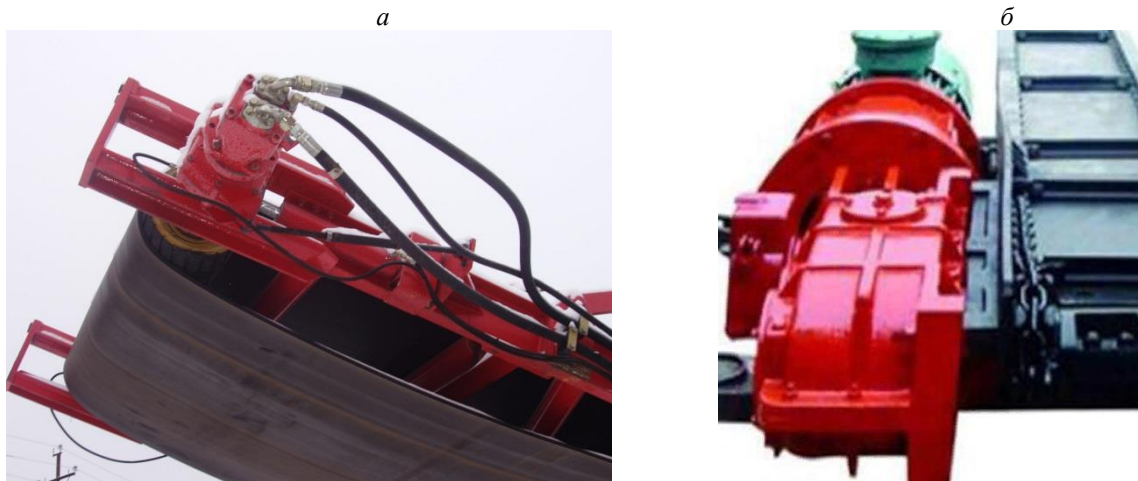


Рис. 3. Привода скребкового конвейера (а) и ленточного перегружателя (б) комплекса Superior Highwall Miners

Fig. 3. Drives of the scraper conveyor (a) and belt conveyor (b) of the Superior Highwall Miners complex

Таблица 2. Интенсивность вибрации в приводе ленточного перегружателя

Table 2. Vibration intensity in the belt conveyor drive

ПРИВОД ЛЕНТОЧНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ		V _{Скз} , мм/с	Оценка технического состояния
Контрольная точка			
ИД	Описание		
1Вер	Двигатель, задний подшипник	10,5	Предельно допустимо
1Поп	Двигатель, задний подшипник	6,5	Допустимо
2Вер	Редуктор, передний подшипник выходного вала	20,7	Недопустимо
2Поп	Редуктор, передний подшипник выходного вала	16,6	Недопустимо

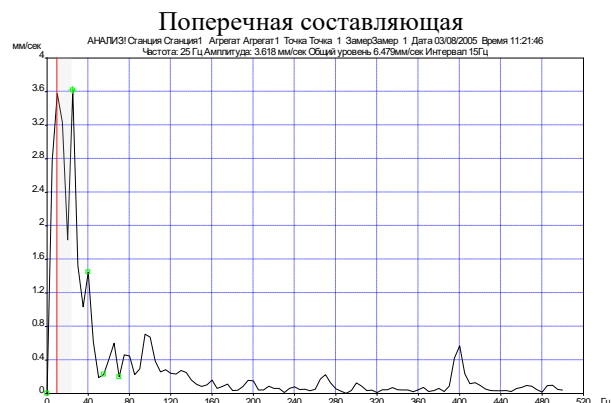
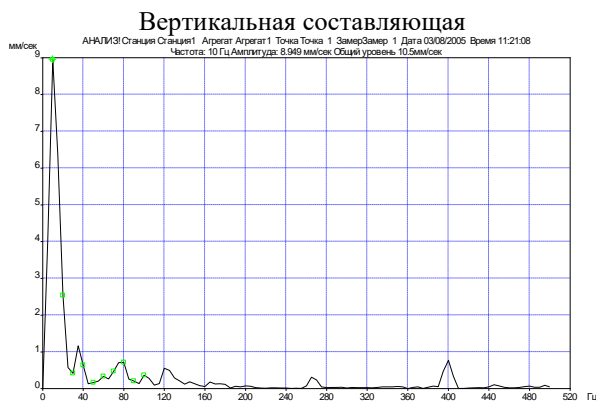


Рис. 4. Интенсивность вибрации на заднем подшипнике гидродвигателя ленточного перегружателя

Fig. 4. Intensity of vibration on the rear bearing of the belt conveyor hydraulic motor

измерений на сравнительно узкие, возможно, перекрывающиеся частотные полосы и применяя индивидуальные для каждой полосы допустимые значения и критерии, можно распознавать появление ряда зарождающихся дефектов.

Определение технического состояния по спектральным опорным маскам позволяет определять дефекты в различных частотных диапазонах:

- $(0,5...2,5) \times f_r$ – для обнаружения дисбаланса и расцентровки;
- $(7,5...15,5) \times f_r$ – для обнаружения дефектов в подшипниках качения;

- $(2,5...10,5) \times f_r$ – для предупреждения о нарушениях жесткости;
- $(0,1...0,9) \times f_r$ – для обнаружения дефектов масляного клина подшипников скольжения;
- $(z \pm 1) \times f_r$ – для распознавания дефектов зубчатых муфт и зубчатых передач.

Здесь f_r – частота вращения приводного двигателя, z – число зубьев.

Для определения «нормального» состояния оборудования комплексов горных типа SHM был использован метод «средненормального» состояния – когда в качестве критериев «нормального» состояния принимались среднестатистические величины контролируемых параметров заведомо

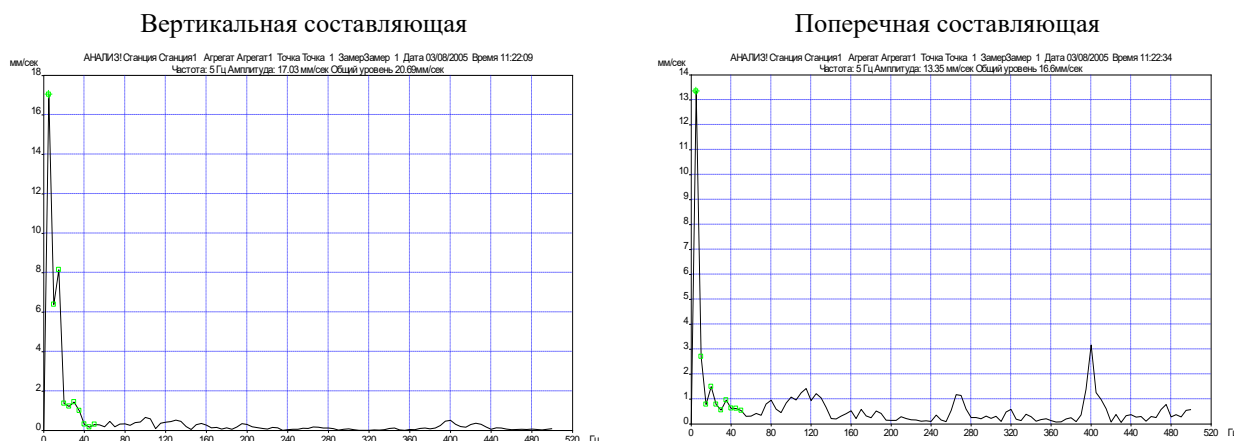


Рис. 5. Интенсивность вибрации на редукторе ленточного перегружателя
 Fig. 5. Intensity of vibration on the gearbox belt loader

Таблица 3. Интенсивность вибрации в приводе скребкового конвейера
 Table 3. Vibration intensity in the scraper conveyor drive

ПРИВОД СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА		V _{СКЗ} , мм/с	Оценка технического состояния
Контрольная точка			
ИД	Описание		
1Вер	Двигатель, задний подшипник	13,7	Недопустимо
1Поп	Двигатель, задний подшипник	10,2	Предельно допустимо
2Вер	Двигатель, передний подшипник	10,3	Предельно допустимо
2Поп	Двигатель, передний подшипник	9,7	Предельно допустимо
3Вер	Двигатель, корпус переднего подшипника	9,9	Предельно допустимо
3Поп	Двигатель, корпус переднего подшипника	11,2	Недопустимо
4Вер	Редуктор, передний подшипник входного вала	2,6	Удовлетворительно
4Поп	Редуктор, передний подшипник входного вала	4,3	Удовлетворительно
5Вер	Редуктор, задний подшипник входного вала	6,4	Допустимо
5Поп	Редуктор, задний подшипник входного вала	5,0	Допустимо

работоспособного агрегата, полученные при обработке результатов нескольких периодических измерений.

Выбор того или иного типа определения границы «хорошего» состояния зависит от статистического разброса данных замеров.

В первую очередь из данных, предназначенных для анализа, были исключены вызывающие сомнение в их достоверности. Для проверки однородности выборки, характеризующей достоверность статистических выводов, и исключения из дальнейшей обработки резко отклоняющихся значений, связанных с ненормальной работой агрегатов, целесообразно использовать критерий грубых ошибок наблюдений при допущении, что полученный экспериментальный ряд значений вибрации (выборка) подчиняется нормальному закону распределения

$$X_{np} = X_m + S q_{q,n},$$

где X_m – среднее арифметическое результатов измерений; S – оценка среднеквадратического отклонения результатов измерений; $q_{q,n}$ – квантиль распределения величины, взятый из таблиц для уровня значимости $\alpha = 99\%$ ($q_{q,n}=3$).

Все спектры, полученные в одноименных измерительных точках, рассматривались в частотном диапазоне, содержащем до 40-й гармоники

частоты вращения ротора для определения зон наибольшей гармонической активности. Было подтверждено, что с увеличением номера гармоники амплитудная активность уменьшается.

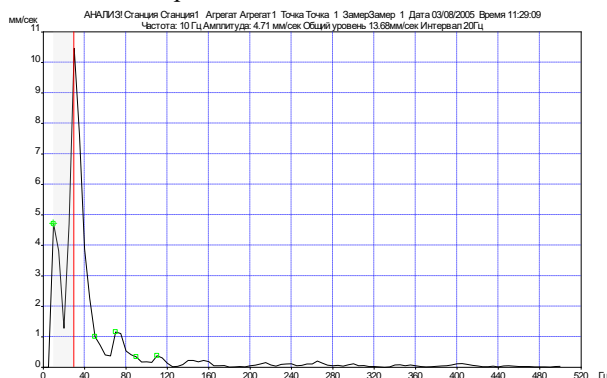
Вибрация анализировалась отдельно по каждому узлу (приводные электродвигатели, гидравлические насосы, редукторы, компрессоры, вентиляторы) и направлению измерения – вертикальному, поперечному и осевому.

Поскольку рекомендации стандарта ISO 2372 положены в основу национальных стандартов промышленно развитых стран (в том числе и большинства из действующих стандартов России), то при развертывании программы мониторинга технического состояния были использованы опорные спектральные маски, представленные в таблице 1.

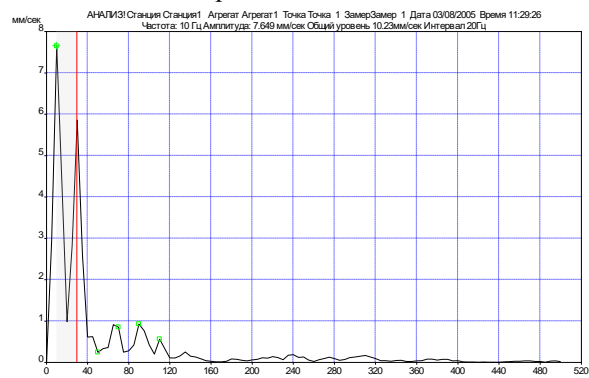
Аналогичным образом были построены опорные спектральные маски для всех агрегатов, используемых на комплексах типа SHM (привода рабочего органа, привода погрузчика, приводов шнековых конвейеров, приводов маслостанции и насоса системы охлаждения, приводов скребкового конвейера и ленточного перегружателя).

ДВИГАТЕЛЬ (задний подшипник)

Вертикальная составляющая

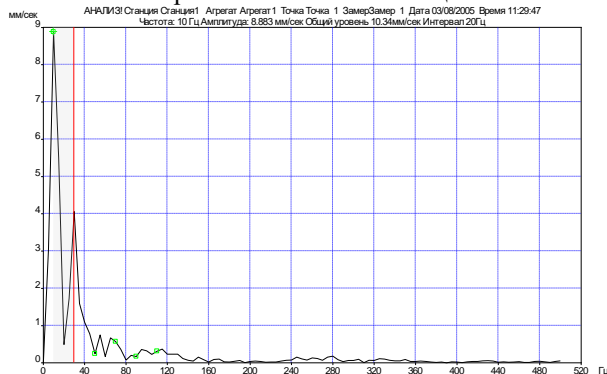


Поперечная составляющая



ДВИГАТЕЛЬ (передний подшипник)

Вертикальная составляющая



Поперечная составляющая

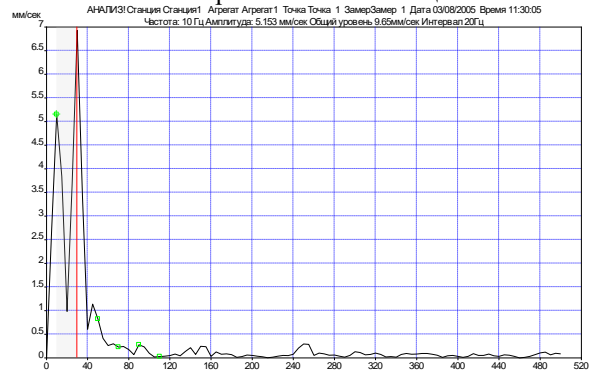


Рис. 6. Интенсивность вибрации на двигателе скребкового конвейера
Fig. 6. Intensity of vibration on the scraper conveyor motor

Результаты исследований

Работа по проведению вибродиагностического обследования была проведена в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ ISO 10816-1-97 «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях» и ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность. Общие требования».

Измерения и анализ параметров вибрации произведены с использованием коллектора/анализатора данных Кварц СУ-060 №15 и программного обеспечения Диамант 2.04.

На первом этапе работы классификация технического состояния механического оборудования произведена в соответствии со следующей шкалой оценок:

хорошо – сборка узлов машинного агрегата оптимальна, вероятность появления дефектов на протяжении длительной эксплуатации минимальна ($V_{СКЗ} \leq 1,8$ мм/с);

удовлетворительно – сборка узлов обеспечивает минимальную вероятность появления эксплуатационных дефектов на протяжении межремонтного пробега ($1,8 < V_{СКЗ} \leq 4,5$ мм/с);

допустимо – повышенная вероятность преждевременного выхода узла из строя, машинный агрегат требует ремонта, повышенный уровень механических колебаний должен быть устранен ($4,5 < V_{СКЗ} \leq 11,2$ мм/с);

недопустимо – дальнейшая эксплуатация может привести к аварийному отказу машинного агрегата ($V_{СКЗ} > 11,2$ мм/с).

Применение опорных спектральных масок ускорило процесс анализа полученных данных, поскольку из анализа были исключены те результаты, в которых уровень вибрационного сигнала не превышал уровня «предупреждение». Для анализа были выбраны 2 агрегата, привод скребкового конвейера и привод ленточного перегружателя (рис. 3), у которых были обнаружены дефекты, возникшие при их эксплуатации.

По общему уровню интенсивности вибрации техническое состояние привода ленточного перегружателя оценивается как **недопустимое**. Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована на переднем подшипнике выходного вала редуктора (таблица 2).

На рисунке 4 приведены спектры вибрации на заднем подшипнике приводного гидродвигателя ленточного перегружателя, а на рисунке 5 – на выходном валу редуктора.

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимый дисбаланс выходного вала редуктора (а, следовательно, приводного барабана перегружателя), причем амплитуды спектральных компонент на частоте $\cong 5$ Гц достигают недопустимых величин (например, в вертикальной составляющей виброскорости, измеренной во 2 контрольной точке, амплитуда этой компоненты равна 17,03 мм/с). Кроме того,

в спектре отмечаются зубцовые частоты (вторичные признаки проявления недопустимого дисбаланса). Результаты анализа позволяют утверждать о необходимости балансировки выходного вала редуктора и приводного барабана.

По общему уровню интенсивности вибрации техническое состояние привода скребкового конвейера также оценивается как **недопустимое**. Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована на заднем подшипнике двигателя (таблица 3).

Максимальная зафиксированная величина $V_{СКЗ} = 13,7$ мм/с свидетельствует о недопустимом уровне вибрации приводного электродвигателя (см. рис. 6).

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимый дисбаланс ротора электродвигателя. Техническое состояние редуктора – допустимое (в спектре механических колебаний отмечаются зубцовые частоты). В качестве рекомендаций можно сделать вывод о необходимости двухплоскостной балансировки ротора электродвигателя и ревизии редуктора.

Обсуждение результатов

Выполнение вышеуказанных требований и рекомендаций позволит существенно повысить срок службы отдельных узлов и агрегатов комплекса SHM-29 и избежать выхода оборудования из строя, что в конечном счете положительным образом скажется на производительности комплекса в целом и позволит минимизировать издержки, связанные с внезапными отказами.

Как известно, наиболее эффективным из методов вибродиагностики является постоянный (не реже двух раз в месяц) мониторинг, позволяющий своевременно получать точную и достоверную информацию о состоянии оборудования. Особенно актуальной представляется эта задача для комплексов типа SHM, не имеющих в России сервисной службы технического обслуживания. Мониторинг технического состояния комплексов типа SHM позволит создать нормативно-методическую базу оценки и прогнозирования технического состояния по параметрам механических колебаний (для чего потребуется значительный объем статистической информации, необходимой для построения прогностических моделей). Кроме того, мониторинг вибрационных параметров не только позволит своевременно выявлять зарождающиеся дефекты и оценивать степень их опасности, но и станет основой для разработки экспертной системы диагностики подобных комплексов.

Результаты получены в рамках работы по договору РФФИ 20-45-420018\20 «Фундаментальные исследования в области совершенствования техники и технологии выемки забалансовых запасов угля с применением комплексов глубокой разработки пласта».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожков А.А., Карпенко Н.В. Анализ использования отечественного и зарубежного технологического оборудования на угледобывающих предприятиях России. // Уголь. 2019, №7. – С.58-64.
2. К вопросу импортозамещения и локализации производства основного технологического оборудования в угольной промышленности России./А.А. Рожков, Л.И. Кантович, А.А. Грабский, Е.П. Грабская. // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2. – С. 50-57.
3. Герике Б.Л., Сушко А.Е., Герике П.Б. Внедрение цифровых технологий в области диагностики, обслуживания и ремонта горных машин и оборудования. // Техника и технология горного дела. 2018. № 3. – С. 19-28.
4. Указ Президента Российской Федерации от 31 декабря 2015 г. № 683 «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации».
5. Предложения по внедрению на предприятии концепции технического обслуживания и ремонта горнотранспортной техники и оборудования./ И.М. Щадов, В.Ю. Конюхов, А.В. Чемезов, Т.С. Беляевская// ГИАБ – № 12. – 2015. – С. 134-143.
6. Клишин В.И., Писаренко М.В. Научное обеспечение инновационного развития угольной отрасли.// Уголь, № 9. – 2014. – С. 42-46.
7. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. — (Dekker mechanical engineering).
8. Anil Rana, (2016). Optimal maintenance level of equipment with multiple components, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss: 2, pp.180-187.
9. Ierace S., Cavalieri S. An analytic hierarchy process based model for the selection of decision categories in maintenance systems // Management and Production Engineering Review. 2013. Vol. 4. No. 2. P. 37-49.
10. Построение системы интеллектуального обслуживания редукторов горношахтного оборудования./ Б.Л. Герике, В.И. Клишин, Е.Ю. Пудов, Е.Г. Кузин// Горный журнал. № 12, 2017. – С. 68-73.
11. Травин А.А. Контроль вибрации машин при производстве.// ГИАБ – № 6. – 2017. – С. 172-176.
12. Kelly M. and other. (1998). Investigation in Highwall Mining Instability, Pit 16BL South, Moura Mine, QLD. CSIRO Exploration and Mining Report # 467C (Confidential).
13. Shen Baotang. Highwaal Mining Stability – Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. – October, 17-20 Qingdao, China. – Atlantis Press. Amsterdam, Paris, Beijing. 2014. P. 184-189.
14. Нецветаев А.Г. Технология добычи угля с применением комплексов глубокой разработки пластов./ А.Г. Нецветаев, Л.П. Репин, А.В. Соколовский.//Уголь. – № 11. – 2004. – С. 41-43.

15. Опыт вибродиагностического обследования горнодобывающего комплекса «SUPERIOR HIGHWALL MINERS»./ Б.Л. Герике, П.Б. Герике, И.Л. Абрамов, Д.В. Копытин.// Вибрация машин: измерение, снижение, защита, №3. – Донецк. – 2005. – С. 19-22.

16. Краковский Ю.М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, СО, 2005. – 200 с..

Boris L. Gerike^{1,2}, D. Sc. in Engineering, Professor, Chief Research Fellow, **Yuriy V. Drozdenko**², C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Head of s Department, **Aleksander N. Ermakov**², C. Sc. in Engineering, Senior Researcher, **Pavel V. Artamonov**³, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Denis V. Kopytin**², doctoral candidate

¹ Federal Research Center of Coal and Coal chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 10, Leningradsky Ave., Kemerovo, 650065, Russian Federation

² Kuzbass State Technical University, 650000, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, Russia

³ St. Petersburg Mining University, 2, 21st Line, St Petersburg 199106, Russia

THE EXPERIENCE OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN ESTIMATION OF THE TECHNICAL STATE OF HIGHWALL MINING COMPLEX

Abstract: *Open pit mining is associated with significant losses, therefore, the search for solutions that will allow extracting part of off-balance reserves is an urgent task. The SUPERIOR HIGHWALL MINERS (SHM) is a system that combines the use of underground technology for the extraction of minerals from an open surface.*

The use of SHM-type complexes for open-pit mining of coal seams raises the problem of transition from the system of scheduled preventive maintenance to the system of preventive maintenance based on the actual technical condition of the units and assemblies of the complexes, which is determined based on the use of diagnostic methods. The most acceptable method of functional diagnostics is a method based on the analysis of mechanical vibrations, since when the technical state of the machine changes, the vibration signature will also change, and a change in the vibration signature can be used to detect incipient defects before they become critical.

Based on the results of the diagnostic examination of the SHM-29 complex, reference spectral masks were constructed for each of the units and assemblies, normalizing the level of vibration intensity in different frequency ranges of the spectra, which were used to assess their technical condition. According to the results of the analysis, defective units were identified, for which measures for their maintenance were proposed.

Keywords: *open-pit mining, SHM-type complex, technical states estimation, real state maintenance, vibration diagnostics.*

Article info: received August 3, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-4-36-44

REFERENCES

1. Rozhkov A.A., Karpenko N.V. Analiz ispol'zovaniya otechestvennogo i zarubezhnogo tekhnologicheskogo oborudovaniya na ugle-dobyvayushchih predpri-yatiyah Rossii.// Ugol'. 2019, №7. – S.58-64.

2. K voprosu importozameshcheniya i lokalizatsii proizvodstva osnovnogo tekhnologicheskogo oborudovaniya v ugol'noj promyshlennosti Rossii./A.A. Rozhkov, L.I. Kantovich, A.A. Grabskij, E.P. Grabskaya. // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2018. № 2. – S. 50-57.

3. Gerike B.L., Sushko A.E., Gerike P.B. Vnedrenie cifrovyyh tekhnologiy v oblasti diagnostiki, obsluzhivaniya i remonta gornyyh mashin i oborudovaniya. // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. 2018. № 3. – S. 19-28.

4. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii ot 31 dekabrya 2015 g. № 683 «Strategiya nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj federatsii».

5. Predlozheniya po vnedreniyu na predpriyatii koncepcii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta gornotransportnoj tekhniki i oborudovaniya./ I.M. Shchadov, V.Yu. Konyuhov, A.V. Chemezov, T.S. Belyaevskaya// GIAB – № 12. – 2015. – S. 134-143.

6. Klishin V.I., Pisarenko M.V. Nauchnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya ugol'noj ot-rasli.// Ugol', № 9. – 2014. – S. 42-46.

7. Kelly, S. Graham. Advanced vibration analysis. 2013. – 637 p. — (Dekker mechanical engineering).

8. Anil Rana, (2016). Optimal maintenance level of equipment with multiple components, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 22 Iss: 2, pp.180-187.

9. Terace S., Cavalieri S. An analytic hierarchy process based model for the selection of decision categories in maintenance systems // Management and Production Engineering Review. 2013. Vol. 4. No. 2. P. 37-49.

10. Postroenie sistemy intellektual'nogo obsluzhivaniya reduktorov gornoshahtnogo oborudovaniya./ B.L. Gerike, V.I. Klishin, E.Yu. Pudov, E.G. Kuzin// Gornyj zhurnal. № 12, 2017. – S. 68-73.

11. Travin A.A. Kontrol' vibracii mashin pri proizvodstve.// GIAB – № 6. – 2017. – S. 172-176.

12. Kelly M. and other. (1998). Investigation in Highwall Mining Instability, Pit 16BL South, Moura Mine, QLD. CSIRO Exploration and Mining Report # 467C (Confidential).

13. Shen Baotang. Highwaal Mining Stability – Taishan Academic Forum – Project on Mine

Disaster Prevention and Control. – October, 17-20 Qingdao, China. – Atlantis Press. Amsterdam, Paris, Beijing. 2014. P. 184-189.

14. Necvetaev A.G. Tekhnologiya dobychi uglia s primeneniem kompleksov glubokoj razrabotki plastov./ A.G. Necvetaev, L.P. Repin, A.V. Sokolov-skiy.//Ugol'. – № 11. – 2004. – С. 41-43.

15. Opyt vibrodiagnosticheskogo obsledovaniya gornodobyvayushchego kompleksa «SUPE-RIOR HIGHWALL MINERS»./ B.L. Gerike, P.B. Gerike, I.L. Abramov, D.V. Kopytin.// Vibraciya mashin: izmerenie, snizhenie, zashchita, №3. – Doneck. – 2005. – S. 19-22.

16. Krakovskij Yu.M. Matematicheskie i programmnye sredstva ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya. Novosibirsk: Nauka, SO, 2005. – 200 s.

Библиографическое описание статьи

Герике Б.Л., Дрозденко Ю.В., Ермаков А.Н., Артамонов П.В., Копытин Д.В. Опыт использования цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 4 (150). – С. 36-44.

Reference to article

Gerike B.L., Drozdenko Yu.V., Ermakov A.N., Artamonov P.V., Kopytin V.D. The experience of using digital technologies in estimation of the technical state of highwall mining complex. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.4 (150), pp. 36-44.