

А.Д.Мехтиев, В.И.Эйрих, В.В.Югай, Ю.В.Ким, О.В.Алдошина

Карагандинский государственный технический университет (E-mail: barton.kz@mail.ru)

К вопросу использования вибродиагностики для установления фактического технического состояния электромеханического оборудования

Мониторинг фактического технического состояния оборудования, основанный на вибродиагностике, позволяет своевременно установить изменения параметров надежности, фактического износа, усталостного разрушения механических и конструктивных частей горнодобывающего оборудования. В статье произведен анализ данных, полученных на предприятиях Карагандинской и Павлодарской областей. Рассмотрены пути решения повышения надежности механической части горнодобывающего оборудования. Произведена оценка состояния по огибающей спектра вибрации, а также установлены основные причины вывода из строя подвижных частей горнодобывающего оборудования. Приведенная методика позволяет существенно повысить технический уровень диагностики неисправностей и определить реальную потребность в ремонте механического оборудования горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: вибродиагностика, электромеханическое оборудование, техническое состояние, фактическое состояние, вибрация.

Совершенствование технологии производственных процессов и повышение технического уровня оборудования горно-металлургической отрасли соответствуют приоритетам научно-технического и социально-экономического развития Республики Казахстан. Экономический эффект может быть усилен благодаря разработке и внедрению научных разработок и методов, которые позволят существенно повысить технический уровень диагностики неисправностей и реальную потребность в ремонте механического оборудования горнодобывающих предприятий. Важным звеном в эффективной работе всех элементов технологической цепочки горного предприятия, ведущего открытые разработки и добычу угля, является горнодобывающее оборудование. Соответственно решение проблемы своевременного установления изменения параметров надежности, фактического износа, усталостного разрушения, позволит эксплуатационно-ремонтному персоналу предотвратить серьезные последствия от простоя вследствие преждевременного отказа и создания аварийных ситуаций, при разрушении механических и конструктивных частей горнодобывающего оборудования [1]. На сегодняшний день требуется решение важной прикладной задачи по использованию средств неразрушающего контроля и диагностики для разработки научных методов установления фактического технического состояния механической части и его потребности в конкретном виде ремонта. Это направление соответствует одному из основных приоритетов развития науки Республики Казахстан и направлено на развитие технологии углеводородного и горно-металлургического секторов.

На основании анализа данных, полученных при эксплуатации большого количества горнодобывающих комплексов открытых разработок, задействованных на предприятиях Карагандинской и Павлодарской областях, можно сделать вывод, о том, что отказ механизмов экскаваторов обусловлен износом его подвижных и вращающихся частей, подверженных динамическому воздействию, в частности, опор-подшипников качения и скольжения валов и осей, а также пальцев шарнирных соединений. Повышение параметров вибрации и биения, заедание и заклинивание, в конечном итоге, приводят к нарушению рабочих параметров работы механизма в целом, а также могут привести к разрушению отдельных конструктивных элементов. Снижение параметров надежности и расчетного ресурса опор-подшипников качения и скольжения валов и осей, а также пальцев шарнирных соединений экскаваторов может происходить в результате конструктивных особенностей исполнения, их качества, технологии изготовления, свойств материала, конструкторской недоработки, условий эксплуатации, режимов работы и прочих условий. Для предотвращения преждевременных отказов в работе механической части на стадии проектирования необходимо наиболее полно учитывать все факторы, оказывающие влияние на износ и сокращение долговечности опор-подшипников и шарниров.

Одним из путей решения данной научной и прикладной проблемы является внедрение методов мониторинга технического состояния горнодобывающего оборудования, основанного на вибродиагностике. На данный момент времени используются многочисленные стандарты, в основе которых лежит нормирование вибрации в зависимости от мощности агрегата, массы и определенных частот

вращения вала или ротора агрегата, а также высоты оси вращения ротора и др. Поскольку методы ведения вибромониторинга постоянно совершенствуются, происходит периодическое изменение этих стандартов и их приложений. В общем случае оценка состояния агрегата должна проводиться путем совместного учета всех вредных последствий, вызываемых вибрацией. Однако в силу недостаточной изученности многих вопросов динамики машин теоретически строгий вывод общего критерия оценки вибрации и сложность его использования для практического применения делают задачу труднореализуемой. Нами разрабатываются нормативные требования контроля вибрации горнодобывающего оборудования. В качестве критерия используют один из кинематических параметров (виброускорение, виброскорость или виброперемещение), по которому оценивают техническое состояние агрегата.

Основная цель эксплуатационных работ — установление параметров вибрации оборудования. Это контроль его технического состояния в процессе эксплуатации и создание методов, при которых была бы создана возможность своевременного обнаружения любых, даже незначительных повреждений или ненормальностей с возможностью установления характера повреждений на начальной стадии их возникновения (развивающихся дефектов) в любых условиях эксплуатации горнодобывающего оборудования. Решение этой задачи требует обеспечения минимального уровня вибрации агрегата. Проблема нормирования вибрации включает решение четырех взаимосвязанных задач нормирования вибрации:

- опор подшипников;
- роторов;
- корпусов и фундаментов;
- трубопроводных обвязок.

Анализ известных методов дал результаты, подтверждающие разнообразие методов и критериев оценки состояния оборудования. Это затрудняет сравнение различных отраслевых Руководящих документов и Стандартов, что весьма характерно. Даже на родственных горнорудных предприятиях специалисты по вибродиагностике нередко применяют для однотипных агрегатов различные критерии контроля вибрации, не говоря уже об отсутствии близких по величине норм. В некоторых случаях это свидетельствует о том, что существующие отраслевые Руководящие документы и Стандарты не отвечают требованиям специалистов по вибродиагностике промышленных предприятий и последние вынуждены самостоятельно, исходя из накопленного опыта, устанавливать критерии и нормы, соответствующие требованиям конкретного оборудования, и оптимизировать их по мере накопления опыта.

В подтверждение сказанного выше и на основании сделанных нами выводов при анализе материалов исследований, охватывающих некоторые типы валов механизмов добычного и транспортного оборудования центробежных компрессорных и насосных агрегатов, вентиляторов, применяемых на предприятиях горнорудной промышленности Казахстана, не существует также единственного набора критериев оценки технического состояния, подходящего не только для класса оборудования (например, для класса центробежных агрегатов: для центробежных компрессоров или для центробежных насосов, или центробежных вентиляторов со сходными мощностными характеристиками и сходной частотой вращения), но даже для типа и типоразмера. Другими словами, из-за различий в конструкции, в системе ТО и условиях эксплуатации каждый агрегат имеет свои собственные, несколько отличные от других критерии и нормы оценки технического состояния.

Успех любой системы вибромониторинга в основном зависит от методов оценки состояния агрегата и способов определения допустимых значений вибрации и параметров анализа вибрации, интегрированных в анализирующее программное обеспечение пользователя. Главные алгоритмы оценки состояния оборудования, продаваемого на рынке программного обеспечения обеспечивают распознавание состояния по общему уровню вибрации в сравнительно узкой полосе частот или по огибающей спектра.

Оценка состояния по огибающей спектра вибрации использована нами для определения состояния агрегата по диаметрально противоположному способу сравнения текущих параметров вибросигнала с допустимыми значениями: уровень вибрации на каждой частотной составляющей текущего спектра вибрации сравнивается с уровнем соответствующей составляющей «опорного» («эталонного») спектра. В качестве опорного (эталонного) спектра обычно выбирается огибающая, совпадающая, например, с линиями 400-линейного частотного спектра. Опорный (эталонный) спектр можно построить двумя способами: подвергнуть статистической обработке ряд измерений или принять в качестве эталона послеремонтный «хороший» спектр (или предыдущий текущему спектр).

Учет рекомендаций при формировании эталонного спектра для конкретного случая в продаваемых на рынке готовых программных пакетах во многих случаях весьма ограничен. По этой причине при оценке состояния оборудования с применением анализа изменения огибающей спектра иногда появляются необоснованные «срабатывания» тревоги, преимущественно потому, что вибрация оборудования с вращающимся ротором обычно немного флуктуирует по частоте и амплитуде относительно определенной линии спектра с четкой границей.

Флуктуация по частоте: совершенно постоянная частота вращения ротора агрегата труднодоступна. Небольшие ее флуктуации, вызываемые изменением нагрузки, частоты сети и др. (2...8 % у асинхронных и до 1 % у синхронных электрических машин), часто приводят к ощутимому сдвигу первой и высших гармоник частоты вращения ротора в текущем спектре (частот спектральных линий) относительно эталонного. Например, при уменьшении частоты вращения зубчатой передачи с 47 зубьями на ведущем колесе — на 23,5 Гц. Это может привести к превышению допустимых значений опорного спектра и ложному появлению сигнала об изменении состояния оборудования.

Флуктуация по амплитуде: это явление означает практически постоянное присутствие аperiodических скачкообразных изменений амплитуд вибрации. Значения, как общего уровня, так и отдельных частотных составляющих вибрации, часто демонстрируют небольшую флуктуацию во времени вокруг некоторой величины, затем без явной причины происходит резкий переход к новым величинам с новыми флуктуациями. Эти изменения легко наблюдать при мониторинге вибрации в высокочастотной области спектра, особенно они характерны для «промежуточных» частот. Хотя амплитудные флуктуации во многих случаях могут быть небольшие, их аperiodический и «неслучайный» характер приводит к ложному «срабатыванию» тревоги.

К самым существенным недостаткам мониторинга по огибающей спектра вибрации можно также отнести отсутствие исходных данных на начальном этапе мониторинга при организации обследований новых и модифицированных агрегатов или при отклонении эксплуатационных режимов.

По этим причинам оценка состояния по огибающим спектра считается, в лучшем случае, относительно надежным и достоверным методом анализа. Этот метод распознавания состояния оборудования является компромиссным между оценкой состояния оборудования по общему уровню вибрации и по огибающей спектра, а точнее, частным случаем оценки состояния по огибающей спектра, поскольку дает возможность произвольно устанавливать положение, ширину частотной полосы и допустимое значение параметра (критерия), который сравнивается с текущими значениями и далее строить тренды параметра в этой полосе, давая возможность пользователю оценивать и прогнозировать состояние оборудования. Количество частотных полос обычно составляет 6... 18. Ряд методов вибродиагностики основан на том, что определенные механические дефекты по мере развития генерируют вибрацию в определенных частотных полосах с определенным соотношением величин параметров. Например, рассматривая амплитуды определенных гармоник спектра, полученного в определенном частотном диапазоне спектра, можно легко установить глубину модуляции высокочастотной вибрации, которая определяется степенью износа ряда деталей и узлов агрегата. Другой пример — достаточно интенсивная вибрация на лопаточной частоте насоса говорит о нарушении гидродинамики потока, на дробных гармониках частоты вращения ротора — о нарушениях жесткости и т.д. Таким образом, производя разбиение частотного диапазона измерений на сравнительно узкие, возможно, перекрывающиеся частотные полосы и применяя индивидуальные для каждой полосы допустимые значения и критерии, можно распознавать появление ряда зарождающихся дефектов.

Опорные подшипники воспринимают радиальные усилия на вал и фиксируют его радиальное положение относительно корпуса. Основные причины выхода из строя опорных подшипников механического оборудования горнодобывающих предприятий следующие:

- повышенное давление в радиальном направлении из-за нарушений технологических или расчетных режимов;
- нарушение подачи масла и качества масла;
- дефекты сборки и подгонки;
- эксплуатационный износ и загрязнение подшипников.

Повышенное давление в радиальном направлении из-за нарушений технологических или расчетных режимов, нарушения подачи и качества масла. Повышенное давление и нарушение подачи и качества масла во многих случаях мало влияют на характер вибрации агрегатов, но в большинстве случаев приводят к повышению температуры или давления в клине наиболее нагруженных подшипников. Это явление обычно сопровождается ускоренным износом и повреждением баббитового слоя

вкладыша подшипника, наволакиванием материала подшипника на шейку вала и может приводить к внезапному скоротечному выходу подшипника из строя.

Нарушение подгонки и последующая приработка (и свойственные ей диагностические признаки) — явление временное, обычно возникающее при выводе агрегата из ремонта и пуске его в эксплуатацию. Маловероятно сохранение диагностических признаков небольших нарушений подгонки и приработки у агрегата после нескольких месяцев эксплуатации.

Приработка подшипника обычно сопровождается повышенной виброактивностью в области средних и высоких частот.

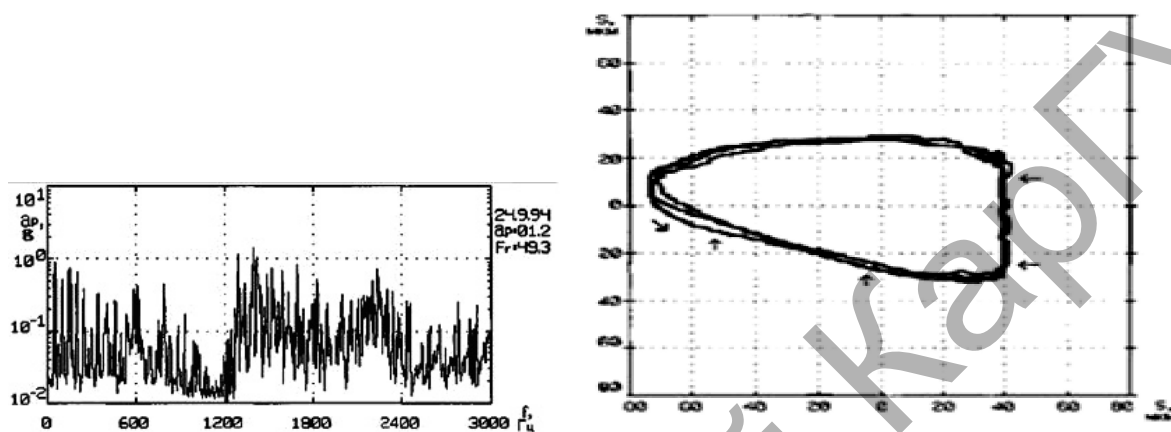


Рисунок 1. Траектория движения вала в подшипнике скольжения в процессе приработки

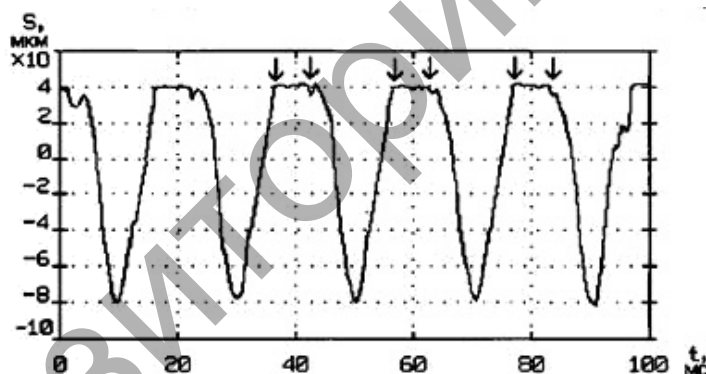


Рисунок 2. Форма и сектор вибрации опор подшипников при нарушении подгонки

Следует помнить, что подобные симптомы, зафиксированные с помощью датчиков относительной вибрации, могут говорить о наличии царапин или других дефектов поверхности вала. Наиболее надежными диагностическими признаками нарушений подгонки и приработки являются достаточно характерные изменения формы кривой сигнала виброперемещения и траектории движения вала в подшипнике (рис. 1, 2). На рисунке 1 приведена траектория движения вала в подшипнике скольжения, наблюдавшаяся в процессе приработки подшипника вала редуктора после проведенного ремонта. Весьма характерно в этом случае наличие участков с прямолинейным движением вала в подшипнике, помеченных вертикальными и горизонтальными стрелками.

Наклонной стрелкой указано направление вращения ротора. Форма сигнала виброскорости и спектр сигнала виброперемещения подшипниковой опоры редуктора получены с помощью датчика абсолютной вибрации. На кривой вибросигнала имеется «площадка», как и на кривой орбиты. В спектре виброускорения наблюдается высокая активность в области высоких и средних частот. Нарушения подгонки и сопровождающая их приработка могут приводить к последствиям, делающим невозможной дальнейшую эксплуатацию оборудования, например, таким, как изгиб и деформация (возможно, остаточная) вала (рис. 2). Повышенный зазор в подшипнике, неравномерные зазоры по радиальной плоскости (нарушение цилиндричности формы вкладыша), нарушение постоянства вели-

чины верхнего зазора и боковых зазоров вдоль оси. Повышенный радиальный зазор и его неравномерность в подшипнике вследствие дефектов изготовления или эксплуатации приводят к сложной зависимости жесткости смазочного слоя от угла поворота, что практически всегда вызывает увеличение вибрации на частоте вращения ротора и особенно ее высших гармониках.

В качестве примера на рисунке 3 приведен спектр виброскорости подшипников вала, имевшего неуравновешенность ротора. Стрелками помечены гармоники частоты вращения вала, с индексом m вибросоставляющей, возбуждаемой подшипником качения, которую не следует принимать во внимание.

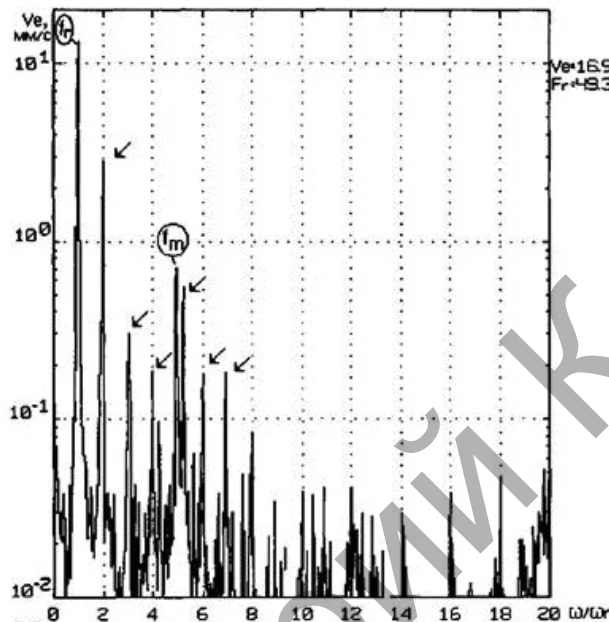


Рисунок 3. Форма и спектр вибраций подшипников вала редуктора, имеющего неуравновешенность

Необходимо добавить, что виброактивность на высших гармониках частоты вращения вала при дисбалансе во многом определяется нелинейностью, весьма индивидуальной для каждого подшипника, и уменьшается с ростом порядкового номера гармоники.

При механическом дисбалансе параметры вибрации зависят от частоты вращения вала и практически не зависят от режима работы агрегата, внешних условий работы агрегата и температуры. Вибрация может проявляться как в поперечном, так и осевом направлениях, однако в силу ее зависимости от жесткости подшипника — пространственно анизотропной; обычно горизонтально-поперечная вибрация преобладает над вертикальной. При этом чаще наблюдаются более интенсивные колебания опор ротора с дисбалансом, и влияние последнего на колебания опор сопряженных валов агрегата, особенно в случае применения гибких муфт, обычно относительно невелико.

References

1. Mehtiev A.D., Lihachev V.V., Bulatbaev F.N. Methodology improving the reliability of the brake beam hoisting machine: University works. Coll. scient. works. — Karaganda: KarSTU Publ., 2008. — № 3. — P. 72–74.

А.Д.Мехтиев, В.И.Эйрих, В.В.Югай, Ю.В.Ким, О.В.Алдошина

Электромеханикалық жабдықтың нақты техникалық қалыбын орнатудағы соққы диагностиканы қолдану жөнінде

Соққы диагностикаға негізделген жабдықтың нақты техникалық жағдайының мониторингі беріктілік параметрлерінің, нақты тозуын, тау-кен өндірісі жабдытарының механикалық және конструктивті

бөліктерінің бұзылуының өзгерісін уақытылы анықтауға мүмкіндік береді. Мақалада Қарағанды және Павлодар облыстарындағы өнеркәсіптердегі алынған талдау мәліметтері келтірілген. Тау-кен өндіретін қондырғылардың механикалық бөлігінің сенімділігін арттыру үшін шешімдердің жолдары қарастырылады. Вибрация спектрінің қисығы бойынша жағдайды бағалау жасалған. Сонымен қатар тау-кен өндіретін қондырғылардың жылжымалы бөлігінің істен шығуының негізгі себептері анықталған. Көрсетілген әдіс істен шыққандардың диагностикасының техникалық деңгейін біршама көтеруге және тау-кен өндіретін өнеркәсіптердің механикалық қондырғыларын жөндеудің нағыз қажеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

A.D.Mekhtiyev, V.I.Eirikh, V.V.Yugai, Y.V.Kim, O.V.Aldoshina

The question of establishing actual technical condition electromechanical equipment for vibrodiagnostics

Monitoring of the actual technical condition of equipment based on vibration diagnostics, allows a timely to set change of parameters of reliability, the actual wear, fatigue failure of mechanical and structural parts of mining equipment. The article analyzed the data obtained on enterprises in Karaganda and Pavlodar regions. We consider solutions to improve the reliability of the mechanical part of the mining equipment. Produced assessment of the envelope of the vibration spectrum, as well as the main causes of withdrawal from system of mobile mining equipment parts. The above technique allows significantly improve the technical level of fault diagnosis and real the need for repair of mechanical mining equipment.