УДК 53.083(430.1)

Б. Л. Герике, П. Б. Герике

МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ МАСОК ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

Значительная часть оборудования, эксплуатирующегося на угольных разрезах, обогатительных фабриках и установках Кузбасса, в настоящее время находится в недопустимом техническом состоянии. В рамках проведения процедуры технического диагностирования и экспертизы промышленной безопасности технических устройств на опасных производственных объектах учеными и специалистами ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева» выполняются работы по вибродиагностическому контролю оборудования угольной промышленности. Объектами данного стали карьерные экскаваторы, буровые станки и установки, дробильно-сортировочное и углеобогатительное оборудование, автосамосвалы, бульдозеры, вспомогательная техника и т.д.

Наиболее информативным и эффективным методом неразрушающего контроля является вибродиагностика. Метод основан на анализе параметров механических колебаний и включает в себя целую группу диагностических подходов, основанных на специализированной математической обработке исходного сигнала. Контроль технического состояния машин и механизмов по параметрам механических колебаний является неотъемлемой составляющей процедуры экспертизы промышленной безопасности технических устройств, эксплуатирующихся на опасных производственных объектах (ЭПБ ТУ ОПО) [1, 2].

Метод оценки технического состояния оборудования при помощи спектральных масок является более гибким и достоверным, по сравнению с оценкой по общему уровню, так как предусматривает вариативность в части ширины частотных полос, их положения и индивидуальных предельно допустимых значений. Кроме того, использование этого метода открывает широкие возможности для построения кратко- и среднесрочных прогнозов оценки состояния техники. Количество частотных полос в спектральной маске обычно составляет от 6 до 18 [3].

Большинство методов вибродиагностики (прямой спектральный анализ, анализ огибающей, кепстр) в своей основе опираются на тот факт, что дефекты энерго-механического оборудования насыщают спектр виброакустической волны составляющими с определенными частотами, изменяющимися в определенных диапазонах, которые подчиняются четким физическим законам и принципам.

Метод спектральных масок основан на сегментировании всего диапазона измерений на несколько частотных полос, каждая из которых рассчитывается исходя из определенных параметров. В качестве примера, на рисунке 1 приведена спектральная маска, специально разработанная для генераторных групп экскаваторов типа драглайн. На представленном примере стандартный частотный диапазон разделен на 8 полос, каждая из которых нормируется по максимальному значению параметра виброскорости.

Следует отметить общее правило построения спектральных масок – в общем виде число частот-

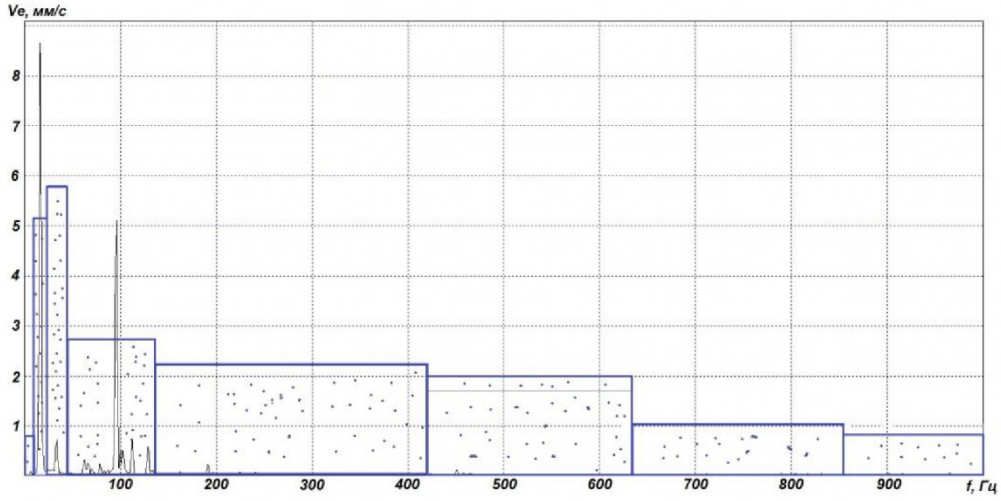

Рис. 1. Спектр виброакустического сигнала по параметру виброскорости, разделенный на 8 частотных полос с заданными предельно допустимыми значениями для каждой полосы.

ных полос маски зависит от количества предполагаемых дефектов агрегата, высота каждой из полос – от степени вклада каждой группы гармонических составляющих в общий уровень сигнала (от степени опасности развития того или иного повреждения). Полосы могут перекрывать, а могут и не перекрывать друг друга, это зависит от степени детализации маски, а также конструктивных и кинематических особенностей механизма.

Для каждой частотной полосы должны быть установлены свои предельные допустимые значения параметров вибрации. Это правило относится к высоко- и низкоэнергетическим составляющим спектра, и применяется ко всему частотному диапазону (обычно, стандартный диапазон составляет 2-1000 Гц). В качестве нормируемого параметра вибрации как правило принимают значение виброскорости, как наиболее информативное в рассматриваемом диапазоне частот. Однако, известны работы, где рассматриваются вопросы нормирования частотных диапазонов виброакустических сигналов по параметру виброускорения или виброперемещения [4].

Частотные диапазоны стандартной спектральной маски (ширина полос) по параметру виброскорости обычно принимают значения:

– «Высокоэнергетические» составляющие спектра, сопровождающие дисбаланс или расцентровку – (0,5...1,5)×fr и (1,5...2,5)×fr;

– «Низкоэнергетические» составляющие колебаний, сопровождающие дефекты подшипника качения – (7,5...15,5) ×fr.;

– (2,5...10,5)×f_r – общее нарушение жесткости системы;

– первая среднечастотная полоса (3...15)×f_r;

– вторая среднечастотная полоса (15...40)×f_r;

– первая высокочастотная полоса 40×f_r…20кГц;

– (0,1…0,9)×f_r – для обнаружения дефектов масляного клина подшипников скольжения;

– nF_{zx}+/- mFr_2 и/или nF_{zx}+/- mFr_1 – для дефектов зубчатых передач редукторов;

– ($n \pm 1$)×f_r – для повреждения элементов соединительных муфт.

Для каждой из полос устанавливаются свои предельные значения (уровни тревоги [4]).

Применение спектральных масок является одним из ***способов нормирования*** сигнала, и в первую очередь позволяет минимизировать затраты времени на обработку большого количества информации. Наложение масок (при помощи автоматизированного программного комплекса) дает специалисту возможность быстро выявить только те замеры сигнала вибрации, где имеется превышение уровня активности гармонических составляющих, и сосредоточиться именно на их анализе. Принято считать, что анализ с применением спектральных масок более точен и информативен по сравнению с анализом общего уровня среднеквадратического значения сигнала. К недостаткам этого метода следует отнести большие временные и трудозатраты на сбор статистической информации по однотипным объектам диагностирования, необходимой для разработки критериев для построения собственно масок. При любом изменении конструкции агрегата, а тем более при смене типа объекта диагностирования работу по созданию спектральных масок необходимо начинать заново.

В данной работе для построения спектральных масок использованы результаты замеров и статистические данные, полученные в ходе вибродиагностических обследований 30 единиц экскаваторов типа ЭШ в период с 2004 по 2014 годы. Спектральные маски разработаны не только для генераторных групп, но и для всего основного энергомеханического оборудования экскаваторов (лебедок подъема и тяги, механизмов поворота).

При обработке статистических данных параметров виброакустического сигнала, были исключены все искаженные (недостоверные) данные замеров. Типы искажений виброакустического сигнала и причины их появления предметом другого исследования.

Т.к. использовалось допущение нормальности распределения полученной выборки , для проверки её однородности и исключения резко отклоняющихся значений использован критерий

$$X_{пр} = X_m + S\, q_{q,n},$$

где X_m – среднее арифметическое результатов измерений;

S – оценка среднеквадратического отклонения результатов измерений;

$q_{q,n}$ – квантиль распределения величины, взятый из таблиц для уровня 99% ($q_{q,n}$=3).

Сигналы вибрации записывались в одних и тех же измерительных точках, чтобы исключить возможность искажения сигнала из-за особенностей распространения виброакустических волн. Непосредственно сами измерения и анализ составляющих полигармонических колебаний проводились как в стандартном, так и расширенном до 40 кГц частотном диапазоне по параметрам виброскорости и виброускорения.

Первые же результаты проведенного анализа показали, что практически у всех обследованных узлов и агрегатов выявлены различные общие уровни механических колебаний и наблюдаются несоответствия в самом гармоническом составе волны (с учетом трехмерности пространства). Объяснение этого факта в следующем. По сути, все динамические агрегаты горной техники, в частности и карьерных экскаваторов, являются механизмами типовых серий. Однако, их предельная изношенность, длительная работа с нагрузками, превышающими расчётные и т.д. делает эти узлы, в своём роде, в высокой степени «уникальными». Действительно, в производстве давно известен факт, что каждая единица эксплуатируемой типовой техники, при превышении определенной

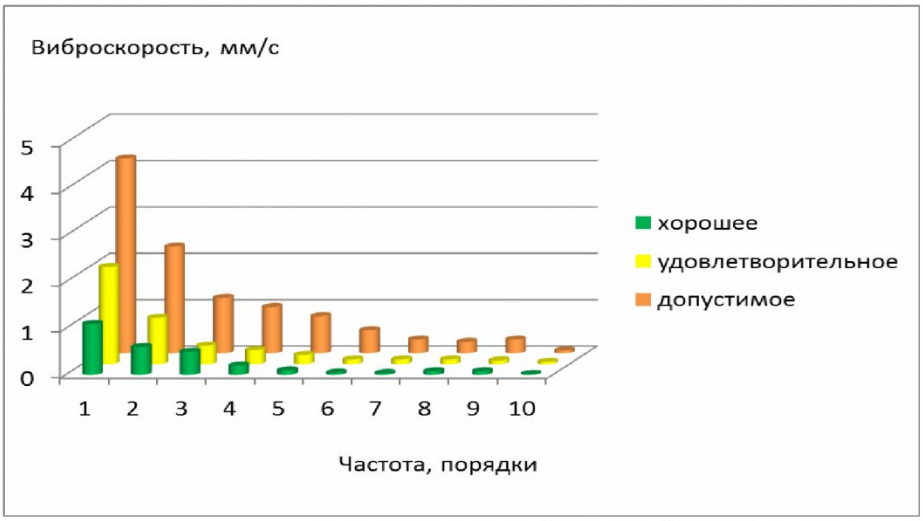

Рис. 2. Пример нормирования состава полигармонической волны вибрации для генераторной группы экскаватора типа ЭШ 10/70.

наработки становится по своему уникальной, обладая своим, только ей присущим набором дефектов и повреждений. Для проведения качественной диагностики технического состояния любой уникальной машины применение только лишь стандартных методов является недостаточным. Появляется необходимость проведения контроля с использованием всех возможностей аппаратуры и максимально возможным числом диагностических методов. Все это усложняет процесс диагностирования и делает его значительно более трудоемким и дорогостоящим, увеличиваются нормы времени на проведение работ, и, как следствие, простои технологического оборудования. Пример использования универсальных спектральных масок для диагностики типового оборудования угольной и горнорудной промышленности отчасти является решением перечисленных проблем и незаменимым элементом внедрения систем автоматизированного контроля техники при переходе на концепцию обслуживания машин по фактическому техническому состоянию.

На рис. 2 приведен пример нормирования сигнала по параметру виброскорости в стандартной полосе частот. Определены индивидуальные предельные значения для каждой из 10 частотных полос стандартного спектра, рассчитанные на основе анализа данных, полученных при проведении измерений на выборке из 30 драглайнов. В данном конкретном случае рассматриваются вопросы диагностики генераторных групп. Представленная характеристика позволяет сделать вывод о том, что некоторым дефектам преобразовательного агрегата соответствуют самые разрушительные по энергии колебательного процесса явления. Совокупность значимых частотных составляющих не сосредоточена в какой-либо одной частотной области, а присутствует по всей ширине спектра.

Предложенный подход к нормированию параметров механических колебаний может быть использован на практике при проведении вибродиагностических работ и направлен на решение задачи качественного, быстрого и достоверного определения фактического технического состояния машин и механизмов. Разработка большого числа спектральных масок для широкого типового ряда горной техники является одним из условий осуществления перехода на качественно новые формы технического обслуживания и ремонта горной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ.

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

3. *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.

4. Неразрушающий контроль. Спр. в 7 т. под ред. чл.-корр. РАН В.В. Клюева, т.7 – Москва, 2005. – 828 с.

Авторы статьи

Герике
Борис Людвигович
докт техн. наук, гл. научн. сотр. лабор. угольного машиноведения ИУ СО РАН, проф. каф. горных машин и комплексов КузГТУ. Email: am_besten@mail.ru

Герике
Павел Борисович
канд. техн. наук, ст. научн. сотр. лабор.средств механизации отработки угольных пластов ИУ СО РАН, доц. каф. горных машин и комплексов КузГТУ. Email: am_besten@mail.ru