



The methods of appraisal of technical state of rotor equipment by vibration, applied at RUP «BMZ» for diagnostics of the basic and auxiliary equipment of the mills are examined.

А. Н. КАТЦЫН, РУП «БМЗ»

УДК 669.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ВИБРАЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА РУП «БМЗ», ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНЫХ ЦЕХОВ

Для механизмов роторного типа (электродвигатели, генераторы, насосы, вентиляторы, редуктора прокатных станов) основными источниками диагностической информации, характеризующими текущее техническое состояние механизмов, являются сигналы вибрации. Обусловлено это тем, что вибрация, являясь следствием взаимодействия различных сил в самом механизме, несет в себе информацию о состоянии как механизма в целом, так и его отдельных кинематических связей, узлов и деталей. При этом теория и практика анализа вибросигналов достаточно отработана для получения достоверной информации практически по любому дефекту.

Агрегаты прокатных цехов состоят в большинстве своем из электродвигателя редуктора и исполнительного механизма. Исходя из разного рода конструкций, все дефекты можно разделить на три типа:

- электрические неисправности: обрыв или короткие замыкания обмоток ротора и статора; изменение и флуктуации магнитных полей из-за неравномерных зазоров между ротором и статором, обрыва стержней ротора; изменение сопротивления вследствие повышенной влажности обмоток и т. д.;
- связанные с гидро- и аэродинамикой среды, например, кавитация потока из-за недостаточного подпора; неполадки в системе воздушного охлаждения; гидроудары, вызванные неправильным направлением потока и т. д.;
- механические неисправности, причинами появления которых являются износы пар трения, появление несбалансированных моментов на валу; ослабление крепления и т. д.

Основное внимание уделим механическим неисправностям, возникающим в процессе функционирования прокатного оборудования, которые можно определить при непрерывной работе агрегата при его штатном режиме эксплуатации.

В зависимости от конструкции и конфигурации установки рассматриваются следующие механические дефекты: дисбаланс вращающихся масс, вызываемый некачественной обработкой подшипниковых шеек ротора, эксцентричной посадкой на роторе колес, изгибом ротора и другими дефектами, приводящими к смещению центра масс ротора: расцентровка или несоосность валов системы привод–редуктор–прокатная клеть (насос) и т. д.

Рассмотрим комплекс дефектов следующего оборудования:

- муфты: износ пальцев муфты; износ зубьев промежуточных валов; дисбаланс муфты.
- подшипники скольжения: эллипсность цапф или шейки вала; неправильная установка вкладышей; износ вкладышей из-за задевания вала за баббит; масляная вибрация, вызываемая несоответствием динамических качеств ротора и смазывающих свойств в подшипниках скольжения;
- подшипники качения: износ внешней обоймы; дефект внешней обоймы (трещины, раковины); износ внутренней обоймы; дефект внутренней обоймы; износ сепаратора; износ тел качения; дефекты на телах качения; неравномерный радиальный натяг; недостаточность смазки; обкатывание наружной обоймы; перекося наружной обоймы;
- зацепления зубчатых передач: дефект зубьев ведущей шестерни; дефект зубьев ведомой шестерни; износ поверхностей.

При появлении каких-либо факторов, вызывающих отклонения от нормального состояния механизма, мы наблюдаем реакцию на их воздействия по изменению соответствующих вибрационных параметров, которые в силу своей высокой чувствительности отражают происходящие с механизмом перемены. На базе контроля и анализа соответствующих вибрационных параметров решаются две основные задачи технической диагностики: мониторинг – распознавание текущего технического состояния механизма и диагностика – выявление причин и условий, вызывающих неисправности, и принятие обоснованных решений по их устранению.

Первая задача долгие годы успешно решается на базе развития средств измерения основных параметров вибрации. Это обычно достаточно простые методы для наблюдения за изменениями определенной группы вибрационных параметров во времени и сравнение полученных результатов с пороговыми значениями. Основные задачи мониторинга – это контроль общего уровня (категории) технического состояния машин и достоверное обнаружение аварийных ситуаций.

Решению второй задачи способствовало развитие микропроцессорной и компьютерной техники и технологий, развитие на их базе методов и средств диагностики, создание специализированных программ по хранению, обработке и анализу результатов измерений. Задачей систем вибрационной диагностики как стационарных, так и переносных является обнаружение и идентификация дефектов на ранней стадии развития, их можно назвать системами мониторинга развития дефектов. Система отслеживает все дефекты, возникающие в процессе эксплуатации машин от момента их зарождения (когда они еще не представляют опасности для работы), контролирует скорость их развития во времени и на основе анализа полученных данных прогнозирует остаточный ресурс, т. е. достаточно точно можно планировать работы по ремонту, наладке или замене изношенных деталей [1].

Опыт, накопленный на РУП «БМЗ», показывает, что внедрение средств диагностики является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования оборудования. Переносные и полустационарные системы технической диагностики становятся основой для перехода от технологии планово-профилактических ремонтов (ППР) к технологии обслуживания по фактическому состоянию (ОФС). Данная технология коренным образом меняет систему обслуживания оборудования на предприятии и позволя-

ет избавиться от «внезапных» поломок механизмов и остановок производства; контролировать реальное текущее техническое состояние механизмов; технически обоснованно определять сроки и содержание ремонтных и наладочных работ, контролировать качество их выполнения; продлить межремонтный период и срок службы механизмов; сократить потребность в запасных частях, материалах и оборудовании; повысить общую культуру производства и квалификацию персонала.

Используемые при этом технические средства, как правило, позволяют не только контролировать состояние механизмов, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и ремонта.

Для оценки технического состояния и диагностики роторного оборудования прокатных цехов используются следующие методы: «ПИК-фактор», оценка состояния по спектру вибросигнала, спектру огибающей, методу ударных импульсов.

Метод ПИК-фактора

Для контроля за техническим состоянием подшипников по данному методу необходимо иметь простой виброметр, позволяющий измерять два параметра вибросигнала:

- среднеквадратичное значение уровня (СКЗ) вибрации, т. е. энергию вибрации;
- пиковую амплитуду (ПИК) вибрации (положительную, отрицательную или полный размах). Отношение двух этих параметров ПИК/СКЗ называется ПИК-фактором.

В осциллограмме нового, хорошо смазанного подшипника присутствует стационарный сигнал шумового характера. С течением времени по мере появления дефектов на деталях подшипника в сигнале начнут появляться отдельные, короткие амплитудные пики, соответствующие моментам удара дефектов. В дальнейшем с развитием дефекта сначала увеличиваются амплитуды пиков, потом постепенно увеличивается и их количество, (рис. 1). Например, дефект, появившись на одном из шариков, создает впоследствии раковину на кольце, с него она переносится на другой шарик, дефекты шариков начинают вырабатывать сепаратор и т. д. до полного разрушения.

Если представить результаты измерений на графике, получим зависимости, показанные на рис. 1. Сначала, по мере появления и развития дефекта, нарастает функция ПИК, а СКЗ меняется очень мало, поскольку отдельные, очень короткие амплитудные пики практически не меняют энергетические характеристики сигнала. В дальнейшем по мере увеличения амплитуд и количества пиков на-

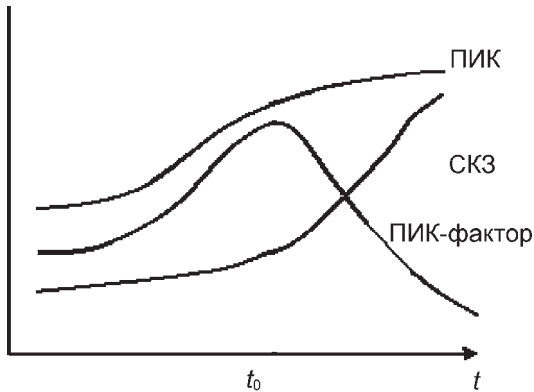


Рис. 1

чинает увеличиваться энергия сигнала, возрастает СКЗ вибрации. Отношение ПИК/СКЗ из-за временного сдвига между ними имеет явно выраженный максимум на временной оси. На этом и основывается метод ПИК- фактора.

Достоинство метода – простота. Для его реализации нужен обычный виброметр общего уровня. К недостаткам относятся слабая помехозащищенность метода и необходимость проводить многократные измерения в процессе эксплуатации. Установить датчик непосредственно на наружной обойме подшипника практически невозможно, поэтому сигнал вибрации характеризует не только подшипник, но и другие узлы механизма, что в данном случае рассматривается как помехи. Чем дальше установлен датчик от подшипника и сложнее кинематика самого механизма, тем меньше достоверность метода. Получить оценку состояния по одному замеру невозможно. Метод используется для диагностики несложного вспомогательного оборудования [2, 3].

Метод спектра вибросигнала

Для контроля за техническим состоянием подшипников по данному методу необходим анализатор спектра вибрации (виброанализатор).

Метод базируется на анализе спектра вибрации – выявлении периодичности (частоты) появления амплитудным виброанализатором и по частотному составу спектра (рис. 2) можно идентифици-

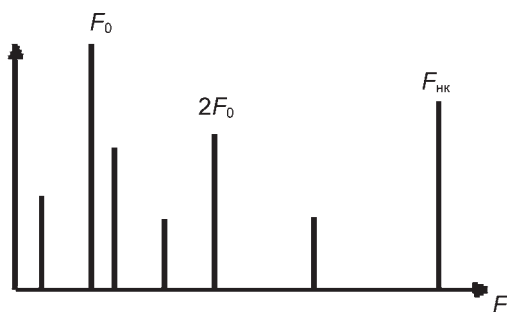


Рис. 2

ровать возникновение и развитие дефектов подшипника. Каждому дефекту на элементах подшипника (тела качения, внутреннее и наружное кольцо, сепаратор) соответствуют свои частоты, которые зависят от кинематики подшипника и скорости его вращения.

Наличие той или иной частотной составляющей в спектре сигнала говорит о возникновении соответствующего дефекта, а амплитуда этой составляющей – о глубине дефекта.

Достоинства – высокая помехозащищенность (маловероятно наличие в механизме источников, создающих вибрации на тех же частотах, что и дефекты подшипника); высокая информативность метода. Возможна оценка состояния элементов подшипника (тел качения, внутреннего и наружного кольца, сепаратора), поскольку они генерируют разные частотные ряды в спектре.

Недостатки – метод дорогостоящий, малочувствителен к зарождающимся и слабым дефектам в связи с тем, что подшипники в большинстве случаев являются маломощными источниками вибрации. Небольшой скол на шарике или дорожке не в состоянии заметно «качнуть» механизм, чтобы мы увидели эту частотную составляющую в спектре. И только при достаточно сильных дефектах амплитуды этих частотных составляющих начинают заметно выделяться в спектре. Метод используется достаточно широко [2, 3].

Метод спектра огибающей

Для контроля за техническим состоянием подшипников по данному методу необходим анализатор спектра вибрации с функцией анализа спектра огибающей высокочастотной вибрации. Метод базируется на анализе высокочастотной составляющей вибрации и выявлении модулирующих ее низкочастотных сигналов. Высокочастотная часть сигнала изменяет свою амплитуду во времени, т. е. она модулируется каким-то более низкочастотным сигналом. Выделение и обработка этой информации и составляют основу данного метода.

Рассмотрим подшипник с зарождающимся дефектом (скол, трещина и т. д.) на наружной обойме. При ударе тел качения о дефект возникают высокочастотные затухающие колебания, которые будут повторяться (модулироваться) с частотой, равной частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу. Именно в этом модулирующем сигнале содержится информация о состоянии подшипника.

Установлено, что наилучшие результаты метод дает в том случае, если анализировать модуляцию не широкополосного сигнала, получаемого от ак-

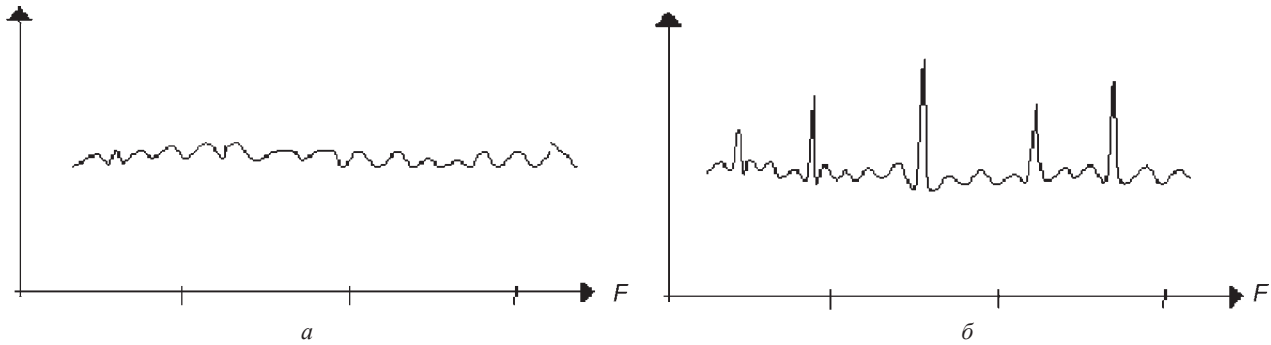


Рис. 3

селерометра, а предварительно осуществить узкополосную фильтрацию сигнала, выбрать основную (несущую) частоту в диапазоне от 4 до 32 кГц и анализировать модуляцию этого сигнала.

Для этого отфильтрованный сигнал детектируется, т. е. выделяется модулирующий сигнал (огибающая сигнала), который подается на узкополосный виброанализатор, и мы получаем спектр интересующего нас модулирующего сигнала или спектр огибающей. Что и дало название этому методу. Обработка сигнала очень сложная, но результат стоит того. Дело в том, что небольшие дефекты подшипника не в состоянии вызвать заметной вибрации в области низких и средних частот. В то же время для модуляции высокочастотных вибрационных шумов энергии возникающих ударов оказывается вполне достаточно, т. е. метод обладает очень высокой чувствительностью.

Спектр огибающей при отсутствии дефектов представляет собой почти горизонтальную, волнистую линию (рис. 3, а). При появлении дефектов над уровнем линии сплошного фона начинают возвышаться дискретные составляющие, частоты которых однозначно просчитываются по кинематике и оборотам подшипника (рис. 3, б). Частотный состав спектра огибающей позволяет идентифицировать наличие дефектов, а превышение соответствующих составляющих над фоном однозначно характеризует глубину каждого дефекта.

Достоинства метода – высокая чувствительность, информативность и помехозащищенность. Недостатки – высокая стоимость, необходим анализатор спектра вибрации с функцией анализа спектра огибающей высокочастотной вибрации [2, 3].

Метод ударных импульсов

Метод ударных импульсов основан на измерении и регистрации механических ударных волн, вызванных столкновением двух тел. Ускорение частиц материала в точке удара вызывает волну сжатия, которая распределяется в виде ультразвуковых колебаний. Ускорение частиц материала в начальной фазе удара зависит только от скорости столкновения и не зависит от соотношения размеров тел. Период времени мал и заметной деформации не происходит. Величина фронта волны является мерой скорости столкновения (удара) двух тел. Во второй фазе удара поверхности двух тел деформируются, энергия движения отклонит тело и вызовет в нем колебания.

Для измерения ударных импульсов используется пьезоэлектрический датчик, на который не оказывают влияние фон вибрации и шум. Вызванная механическим ударом фронтальная волна сжатия возбуждает затухающие колебания в датчике (преобразователе).

Пиковое значение амплитуды этого затухающего колебания прямо пропорционально скорости

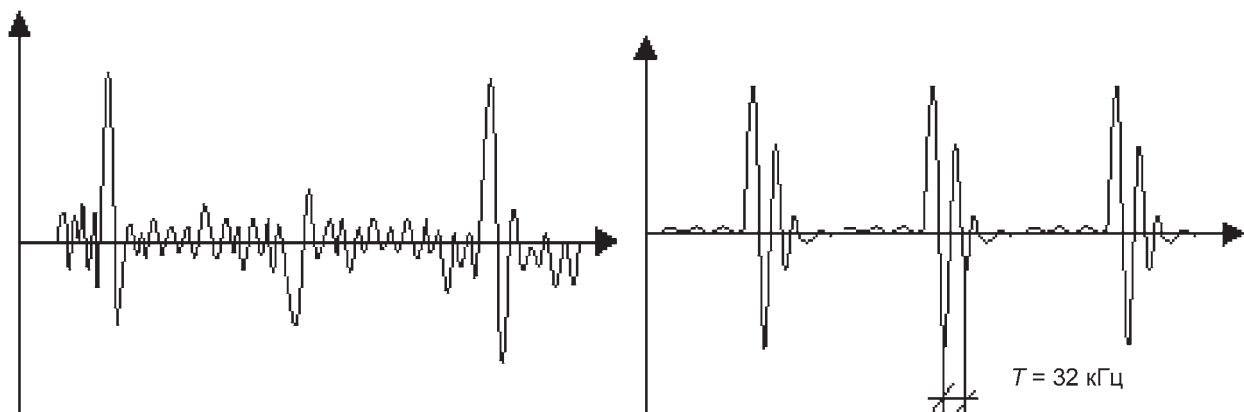


Рис. 4

удара (v). Поскольку затухающий переходный процесс очень хорошо определяется и имеет постоянную величину затухания, его можно отфильтровать от других сигналов, т. е. от сигналов вибрации. Изменение и анализ затухающего переходного процесса – основа метода ударных импульсов.

Наблюдаемый процесс аналогичен тому, как отзывается на удары камертон. Как бы вы по нему не ударили, он звенит на своей собственной частоте. Так и подшипниковые узлы от соударения дефектов «звонят» на своей частоте. Частота эта практически всегда лежит в диапазоне 28–32 кГц (рис. 4) и в отличие от камертона эти колебания очень быстро затухают, поэтому на осциллограммах они выглядят практически как импульсы, что и дало название методу – метод ударных импульсов.

Результаты измерений очень легко нормировать по скорости соударения, зная геометрию подшипника и его обороты. Амплитуды ударных им-

пульсов однозначно связаны со скоростью соударения дефектов и глубиной дефектов. Поэтому по амплитудам ударных импульсов можно достоверно диагностировать наличие и глубину дефектов.

Достоинства метода – высокая чувствительность, информативность и помехозащищенность. Метод прост и дешевый в реализации, существуют простые, портативные приборы.

Недостаток – присутствует одно ограничение, связанное с конструктивным исполнением механизма. Поскольку речь идет о измерении ультразвуковых волн колебаний, которые очень сильно затухают на границах разъемных соединений, для точности измерений необходимо, чтобы между наружным кольцом подшипника и местом установки датчика существовал сплошной массив металла. В большинстве случаев это не вызывает проблем.

Метод широко используется для диагностики редукторов и электродвигателей прокатных станов, насосного оборудования [4].

Литература

1. С е д у ш В. Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. Киев: НМК ВО, 1992.
2. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / А. А. Александров, А. В. Барков, Н. А. Баркова, В. А. Шафранский. Л.: Судостроение, 1986.
3. Б а р к о в А. В., Т у л у г у р о в В. В. Вибрационная диагностика в бумажной промышленности // Бумага, картон, целлюлоза». 1999. № 4, 5.
4. Б р ю л ь и К ь е р. Мониторизация состояния машинного оборудования. DK BR 0660-11.