



*It is shown that using of modern methods and means of technical diagnostics will allow to provide reliable accident-free exploitation of equipment, to decrease considerably labour-intensiveness, period of repair and accordingly production expenses.*

С. М. ПИСКУН, В. Э. ГУБЕР, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одной из наиболее важных и актуальных проблем современности является обеспечение надежности механизмов, машин и оборудования в любой отрасли промышленности. Это вызвано постоянным ростом объемов производства и повышением требований к качеству выпускаемой продукции.

Безопасная эксплуатация оборудования, повышение надежности и значительное увеличение ресурса машин, механизмов и оборудования невозможны в настоящее время без широкого применения методов и средств технической диагностики – области науки и техники, изучающей и разрабатывающей методы и средства определения и прогнозирования технического состояния механизмов, агрегатов, машин и оборудования без их разборки. Внедрение средств технической диагностики позволяет отказаться от обслуживания и ремонта по регламенту и перейти к прогрессивному принципу обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, что дает значительный экономический эффект [1].

Одним из основных этапов технической диагностики является определение дефектов механизма, которые представляют собой наибольшую опасность для его функционирования. При анализе выходов из строя оборудования было выявлено, что основными причинами являются дефекты подшипников. Для обнаружения данных дефектов подшипников на предприятии применяются современные приборы и методики ведущих фирм ВАСТ, SPM и т. д. [1].

Цель статьи – показать возможность обнаружения дефектов подшипников на ранней стадии развития дефекта посредством анализа сигнала вибрации.

Спектр и форма сигнала вибрации содержат информацию о характерных дефектах подшипников качения. Эта информация имеет специфические особенности в зависимости от вида дефекта. Одна из таких характерных особенностей – наличие несинхронных пиков, т. е. пиков, не являющихся целнократными гармониками частоты вращения вала машины. Спектр вибрации может содержать как дискретные пики, так и широкополосные частотные области высокого уровня. Во временном сигнале вибрации могут наблюдаться ударные импульсы, обусловленные прохождением (перекатыванием) элементов качения через дефекты дорожек или контактом дорожек с дефектными участками элементов качения.

Важным моментом является то, что колебания, связанные с дефектом подшипника качения, имеют много меньшую амплитуду, чем колебания, связанные со многими другими повреждениями, такими, как дисбаланс, несоосность или дефекты зубчатой передачи.

Во временном сигнале вибрации и в его спектре присутствуют характерные признаки дефектов подшипников качения, которые сильно зависят от вида дефекта. Один из таких признаков – присутствие в спектре несинхронных пиков, т. е. пиков, которые не являются целочисленными гармониками частоты вращения. Более того, при развитых дефектах можно наблюдать гармоники этих несинхронных пиков. Спектр может содержать как дискретные (узкополосные) пики, так и размытые «в виде холмов», в которых сосредоточена вибрационная энергия (рис. 1).

Указанные дефекты вызывают колебания с амплитудами разных порядков, поэтому целесообразно сравнивать полученные данные с имеющимися

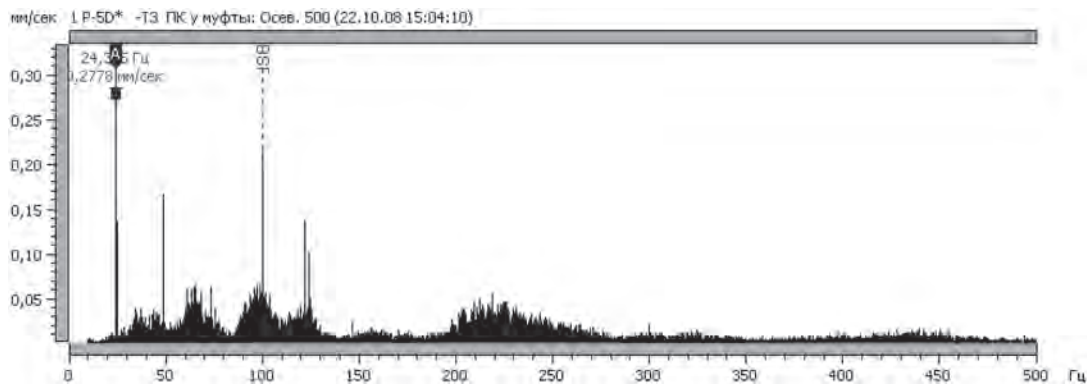


Рис. 1. Выкрашивание тел качения в подшипнике MPZ 307 в насосе P-5D

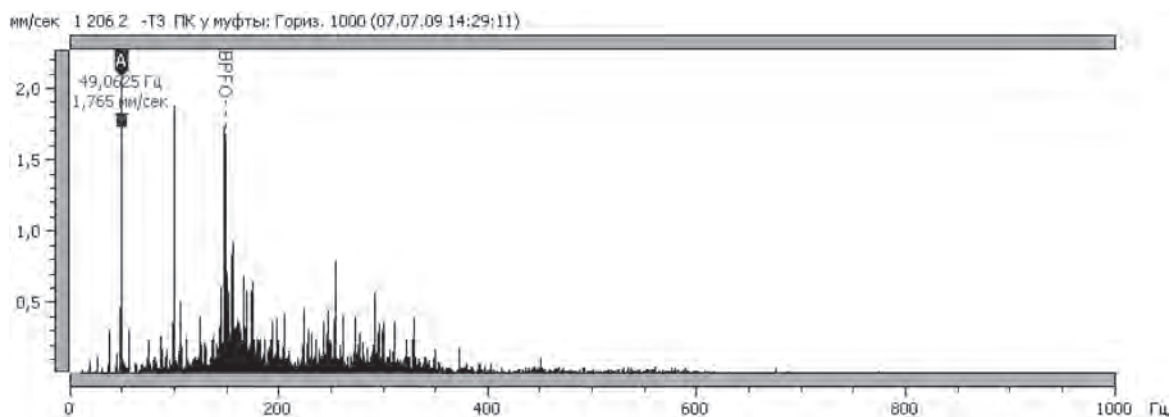


Рис. 2. Трещина на наружном кольце подшипника SKF 6307 насоса № 206-2

эталонными значениями для различных дефектов, вместо того, чтобы пользоваться единым общим уровнем, принятым за уровень предупреждения о возможных дефектах подшипников. Поскольку на практике приходится иметь дело с самыми разными конструкциями и способами применения подшипников качения, разными частотами вращения и условиями их нагружения, очень трудно установить один уровень предупреждения, который бы хорошо работал во всех или хотя бы во многих ситуациях. И когда говорится о степени развития дефектов, то в первую очередь связывают это с характерными особенностями спектров. Распознавание образов является ключевым моментом для определения стадии развития дефекта.

Подшипники качения имеют свои характерные частоты проявления дефектов, которые определяются их геометрическими размерами. Эти частоты можно рассчитать для внутренней и внешней дорожек, сепаратора и шариковых или роликовых элементов.

Для расчета характерных частот необходимо знать число элементов качения, их диаметр, диаметр сепаратора и угол контакта. Если эти параметры известны, можно определить все характерные частоты, генерируемые каждым отдельным элементом подшипника.

В отличие от повреждений других видов характерные подшипниковые частоты будут появляться в спектре только в том случае, если есть дефекты конкретных элементов подшипников качения. Кроме того, в спектре возможно появление сразу нескольких частотных составляющих, характерных для данного конкретного подшипника качения. Например, если на внешней дорожке присутствует какой-нибудь дефект, через некоторое время этот дефект вызовет износ и деградацию элементов качения, а затем передастся и внутренней дорожке подшипника.

Дефекты подшипников, которые можно распознать с помощью вибрационного анализа, включают в себя дефекты внутренней и внешней дорожек качения, дефекты элементов качения, дефекты сепаратора, ослабление посадки подшипника, увеличенный внутренний зазор, проворачивание внутреннего кольца на валу, перекося подшипника и дефекты смазки.

Для того чтобы оценить, как долго еще прослужит этот подшипник, вопрос о месте повреждения и степени его развития становится актуальным. Здесь важно знать – это внутренняя дорожка или внешняя, поскольку подшипник с дефектом на внешней дорожке может прослужить дольше, чем с дефектом на внутренней. Именно появление частотной составляющей, характерной для дефек-

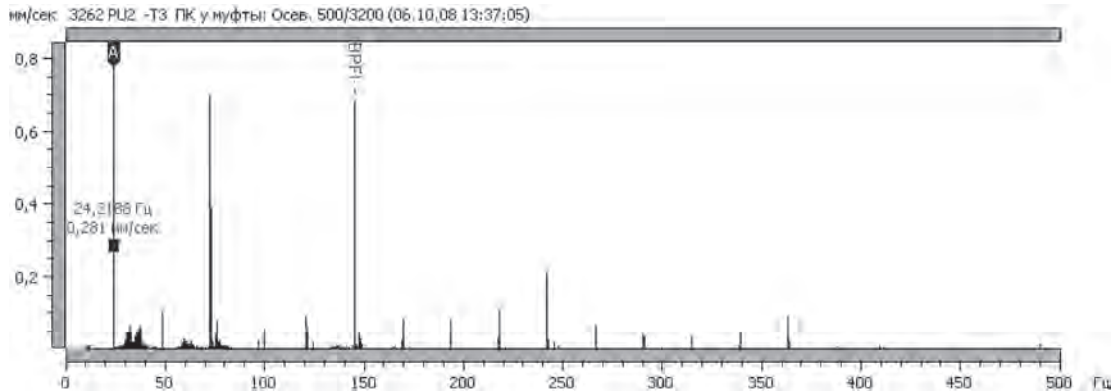


Рис. 3. Износ внутренней дорожки подшипника SKF 6209 на насосе 3262 PU2

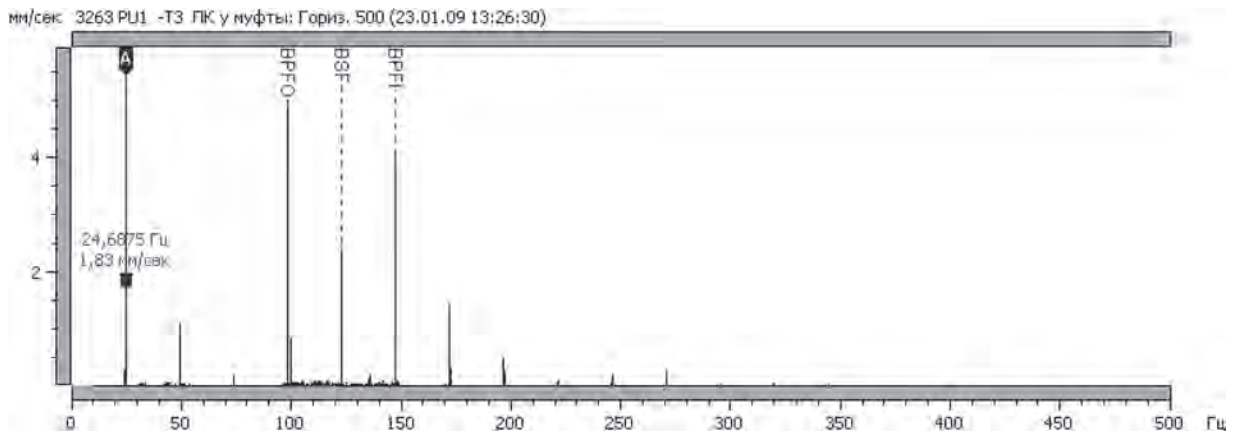


Рис. 4. Износ подшипника SKF 6209 на насосе 3263 PU1

та внутренней дорожки, требует особого внимания (рис. 2, 3).

Для того чтобы понять это, следует обратиться к самой конструкции подшипника и способу распространения вибрации. Если датчик вибрации установлен в зоне нагрузки на подшипник, где и имеет место большинство повреждений внешней дорожки, путь распространения вибрации проходит через внешнюю дорожку, корпус подшипника и далее до датчика вибрации. По такому пути колебания, вызванные дефектом внешней дорожки, передаются с малыми потерями, что позволяет уверенно выявлять такие дефекты, несмотря на то что амплитуда вибрации на высоких частотах может быть относительно невелика.

В большинстве случаев способ использования подшипников таков, что внутренняя дорожка вращается, а внешняя остается неподвижной. Если дефект находится на внутренней дорожке, он постоянно перемещается вместе с ней и поэтому не всегда находится в зоне нагрузки, а временами и далеко уходит от того места, где расположен датчик вибрации. Энергия вибрации передается от внутренней дорожки к датчику через элементы качения, сепаратор, внешнюю дорожку и корпус подшипника качения. Этот путь распространения вибрации гораздо хуже с точки зрения потерь

энергии. Дефект также перемещается и часто находится вне зоны нагрузки, где удары значительно ослабевают. К тому же необходимо быть уверенным, что выборки сигналов, по которым производится усреднение, достаточно длинные и охватывают, по крайней мере, один полный оборот вала. В противном случае, может оказаться так, что в выборки не будут попадать самые мощные участки сигнала, когда дефект внутренней дорожки проходит зону нагрузки [2].

Если в спектре вибрации наблюдаются характерные частоты как для внутренней, так и для внешней дорожки и обе они имеют одинаковую амплитуду (рис. 4), то какая из дорожек имеет более развитый дефект? Можно утверждать – внутренняя. И если вы обнаружили дефекты на обеих дорожках, смело можно предположить, что дефекты имеются также и на элементах качения. Они могут не всегда проявляться на соответствующих частотах, но могут вызвать появление боковых полос у частот, характерных для дефектов дорожек. Если все указывает на повреждение нескольких элементов подшипника качения, это должно рассматриваться как экстренный случай, поскольку дефекты элементов качения легко могут вызвать повреждения сепаратора, что приведет к полному разрушению подшипника.

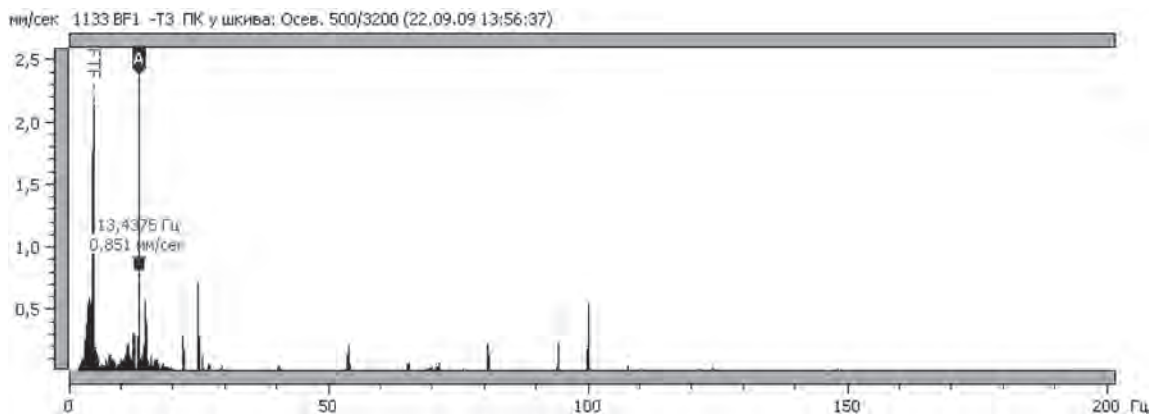


Рис. 5. Износ сепаратора подшипника SKF YAR212 на валу вентилятора 1133 BF1

Весьма часто возникает вопрос «как долго прослужит подшипник?» Вопрос о предполагаемом сроке службы подшипника решается на основе рассмотрения нескольких аспектов. Одни из них – это история подшипника, его текущее состояние, как многочисленны и насколько развиты имеющиеся дефекты? Имеют ли место нарушения внутренней геометрии подшипника?

Об этом можно судить по характерным особенностям в спектре и форме сигнала вибрации. В спектре будет наблюдаться размытие пиков и появление большой широкополосной области высокого уровня.

Что является причиной повреждений? Изменение внутреннего зазора, отсутствие смазки или повышенная вибрация? Если это отсутствие смазки, оно должно сопровождаться очень быстрыми изменениями в сигнале вибрации, повышенным нагревом подшипника и угрозой скорого выхода подшипника из строя. Если имеет место повышенная вибрация, определяемая действием каких-либо иных источников, можно попытаться уменьшить дисбаланс и перекосы в машине, прежде чем подшипник попадет в зону ускоренного разрушения. Особенно это касается перекосов.

Некоторые случаи связаны с новыми подшипниками, в которых однако наблюдался перекос, который приводил к повышению нагрузки на подшипники, а та в свою очередь вызывала интенсивный ускоренный износ.

Как долго подшипнику осталось работать по сравнению с тем временем, что он уже был в эксплуатации? Когда появился первый дефект? Ответы на эти вопросы зависят от частоты вращения машины. Если она равна 1500 об/мин и выше, развитие дефекта пройдет все стадии до разрушения достаточно быстро. Если же она равна 300 об/мин и ниже, это может занять и несколько месяцев, особенно если дефект наблюдается на внешней дорожке. Выкрашивание и расслоение металличе-

ской поверхности дорожек могут наблюдаться в течение длительного периода времени и быть вполне допустимыми, так как частота вращения вала низкая.

Подшипники очень быстро будут выходить из строя, если нагрузка на них будет превышать, установленную техническими условиями. Фактором, определяющим срок службы, является частота вращения. На срок жизни подшипника существенно влияет вибрация. Из практики следует, что повышение вибрации машины от 5 до 10 мм/с может сократить срок службы подшипника почти на 70% [2].

Другой вид дефектов связан с сепаратором (рис. 5). Дефекты сепаратора проявляются на частоте вращения сепаратора (FTF) и сопровождаются, как правило, другими повреждениями в подшипнике. Эта составляющая единственная из всех подшипниковых составляющих, которая является субгармоникой, поскольку ее частота ниже частоты вращения вала. Эту составляющую очень трудно обнаружить в спектре вибрации, поскольку в тот момент, когда она появляется, подшипник находится уже в очень плохом состоянии. Часто его работа при этом будет сопровождаться акустическим шумом и до разрушения подшипника останется очень немного времени.

Появление в спектре первой гармоники оборотной частоты или боковых модуляционных полос или даже значительного широкополосного шума свидетельствует о прогрессирующем дефекте, который привел к изменению геометрии подшипника.

Боковые полосы (суммарные или разностные) появляются сначала вокруг частоты, связанной с дефектом. Характерным является модуляция колебаний на частоте прохождения внутренней дорожки качения с частотой вращения ротора. Иногда можно увидеть суммарные и разностные ча-

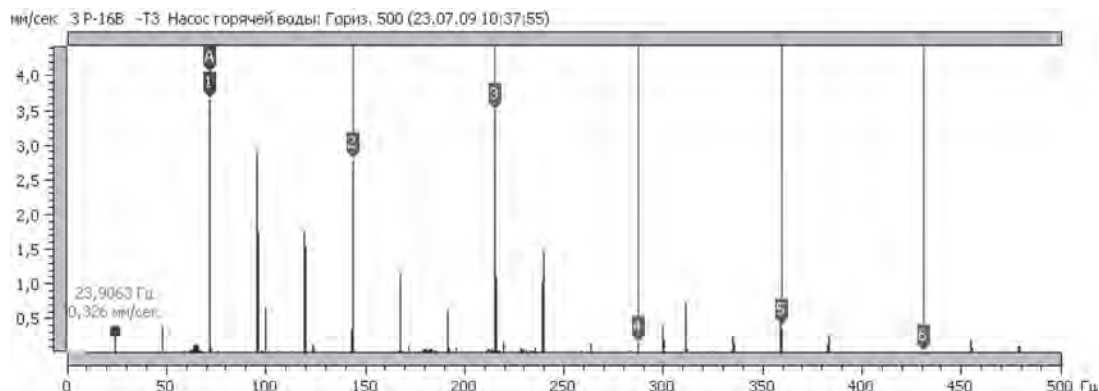


Рис. 6. Проворачивание подшипника качения MPZ 305 на валу

стоты вследствие модуляции иной частотой, чем оборотная частота ротора. Например, это может быть частота прохождения внутренней или внешней дорожки качения или частота контактирования шариков с дорожками качения, так что, скажем, дефект внешней дорожки будет проявляться на частоте BPFO с боковыми полосами, образованными колебаниями с частотой BSF или FTF. В этом случае можно говорить о наличии множественных дефектов в подшипнике и по-видимому, сильно развитых.

Многочисленные гармоники частоты вращения (например, от 1-й до 8-й) в спектре вибрации предполагают ослабление в соединениях и могут указывать на наличие увеличенных внутренних зазоров. Там, где ожидается увеличенный зазор, будет присутствовать большее число гармоник с большими амплитудами. Через некоторое время в спектре может появиться половинная гармоника и ее гармоники (т. е. составляющие на частотах 0,5, 1,5, 2,5, 3,5 и т. д. от оборотной) [3].

Если в спектре присутствует 3-я гармоника оборотной частоты или же она заметно выделяется на фоне остальных гармоник, это может свидетельствовать о том, что подшипник проворачивается на валу (рис. 6). Если же имеет место неплотная посадка корпуса подшипника, в спектре вибрации следует ожидать появления нескольких

гармоник частоты вращения вала, обычно доминирующими будут 1-я и 4-я гармоники.

Если в подшипнике имеет место перекосяк, его также можно распознать с помощью анализа вибрации. В этом случае следует обратить внимание на частоту, равную частоте вращения вала, умноженную на число тел качения в подшипнике.

Из статистики следует, что примерно 43% подшипников выходят из строя вследствие неправильного режима смазки, т. е. ее избытка или недостатка (как правило, более вероятной причиной будет избыточная смазка). Еще 27% связаны с неправильной установкой подшипника, например, когда подшипник пытаются поставить на место с помощью ударного инструмента или наклейки и сварки, 24% включают неправильное применение подшипников, дефекты сборки и повышенную вибрацию. Только 9% подшипников выходят из строя вследствие естественного износа.

### Вывод

Использование современных методов и средств технической диагностики позволит обеспечить надежную, безаварийную эксплуатацию оборудования, значительно уменьшить трудоемкость, время ремонта и соответственно снизить расходы производства и ремонта технологического оборудования в несколько раз.

### Литература

1. Баркова Н. А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования. СПб., 2003.
2. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 1999.
3. Биргер И. А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978.