

Вибродиагностика подшипниковых узлов тихоходных валов

Надежность работы оборудования промышленных предприятий в высокой степени зависит от надёжности применяемых подшипников. Так как выход из строя одного подшипника может вывести из строя всю производственную линию, этот узел является ключевым.

Для обеспечения надёжности динамического оборудования (насосов, вентиляторов, компрессоров, редукторов, электродвигателей и пр.) необходим контроль подшипников до установки, потому что даже известный бренд не защищен от подделок. По данным всемирной ассоциации производителей подшипников WBA (World Bearing Association) по всему миру постоянно выявляют десятки тонн поддельных подшипников, а в некоторых странах оборудование для лазерной маркировки и немаркированные подшипники от анонимного производителя.

Дефект подшипника может быть вызван некачественным монтажом, недостаточной смазкой, нарушением режима эксплуатации и т.д.

Все дефекты подшипников могут быть выявлены средствами вибродиагностики. Кроме измерения нормируемых значений среднеквадратичного значения виброскорости, перемещения измеряются и другие величины, например, отношение пиковых значений к среднеквадратичному значению. Для более точного выделения диагностических признаков используют метод спектрального анализа огибающей вибрационного сигнала или метод [PeakVue](#), прошедшего через полосовой высокочастотный фильтр, анализ кепстра, фазовый анализ, усреднение во временной области и др.

Основным средством диагностики по абсолютной вибрации опор является частотный анализ.

Специалисты

В подшипнике можно выделить четыре основные, применяемые для диагностики, частоты - внешней обоймы подшипника, внутренней обоймы, частоты сепаратора и частоты тел качения. Для случая неподвижного наружного кольца и вращающегося внутреннего формулы имеют следующий вид (при вращении наружного кольца и неподвижном внутреннем изменится характерная частота сепаратора):

Частота перекатывания тел качения по внешней обойме (обозначаемая в англоязычной технической литературе BPFO – Ball Pass Frequency Outer Race):

$$F_n = N_{tk} / 2 \times F_1 (1 - D_{tk}/D_c \times \cos\varphi)$$

Частота перекатывания тел качения по внутренней обойме (BPFI - Ball Pass Frequency Inner Race):

$$F_b = N_{tk} / 2 \times F_1 (1 + D_{tk}/D_c \times \cos\varphi)$$

Частота сепаратора (FTF – Fundamental Train Frequency):

$$F_s = 1/2 \times F_1 (1 - D_{tk}/D_c \times \cos\varphi)$$

Частота перекатывания тел качения (BSF – Ball Spin Frequency):

$$F_{tk} = 1/2 \times F_1 \times D_{tk}/D_c (1 - D_{tk}^2/D_c^2 \times \cos^2\varphi)$$

где: N_{tk} - количество тел качения в одном ряду подшипника;

F_1 - оборотная частота вращения ротора;

D_{tk} - диаметр тела качения;

D_c - средний диаметр сепаратора;

φ - угол контакта тела качения с обоймой.

На практике используют более простые формулы, естественно, менее точные.

Частота перекатывания тел качения по внешней обойме (BPFO):

$$F_n \approx 0,4 \times F_1 \times N_{tk}$$

Частота перекатывания тел качения по внутренней обойме (BPFI):

$$F_b \approx 0,6 \times F_1 \times N_{tk}$$

Частота сепаратора (FTF):

$$F_s \approx 0,4 \times F_1$$

Частота перекатывания тел качения (BSF):

$$F_{tk} \approx 0,23 \times F_1 \times N_{tk} (N_{tk} < 10)$$

$$F_{tk} \approx 0,18 \times F_1 \times N_{tk} (N_{tk} \geq 10)$$

Для более точного диагностирования состояния подшипника, он должен быть максимально нагружен. Вибродатчик должен быть расположен как можно ближе к нагруженной зоне подшипника. На диагностируемом оборудовании не должно быть источников вибрации с частотами, близкими к частотам дефектов подшипников. Иногда частоты вибрации от отдельных элементов подшипника не

соответствуют расчётным, так как при недостаточной нагрузке возможно проскальзывание тел качения, а также при развитии дефекта это отличие может возрастать.

Например, на одном из подшипников сукноведущего валика бумагоделательной машины был диагностирован дефект наружного кольца.

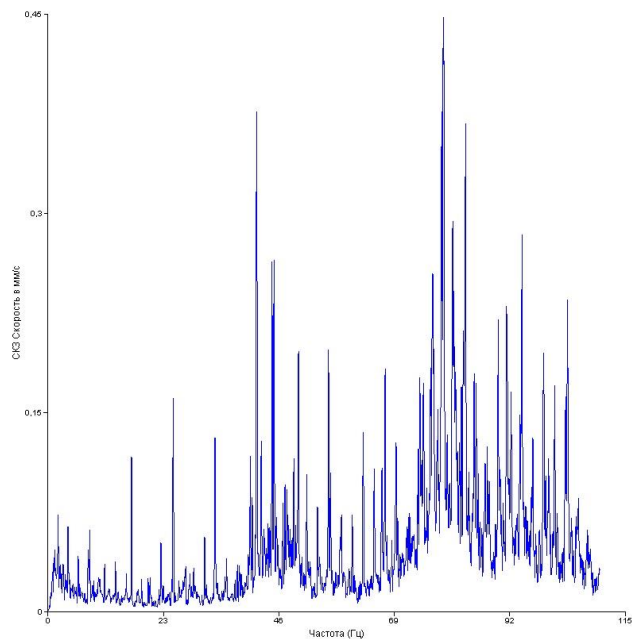


Рис.1

В спектре виброскорости основные частоты BPFO и BSF. При разборке было обнаружено, что разрушено наружное и внутреннее кольцо, тела качения имеют повреждения (см.рис.1, рис.2).



Рис.2

Сложность диагностики подшипников валов линий рулонных материалов заключается в том, что частота вращения небольшая (20-100 об/мин, что требует длительного времени для корректных замеров вибрации) и непостоянная, также достаточно сложная конструкция подшипникового узла (см.рис. 3). Когда внутренний подшипник вращается вместе с валом и его вибрационный сигнал можно получить только на корпусе подшипника с неподвижным наружным кольцом.

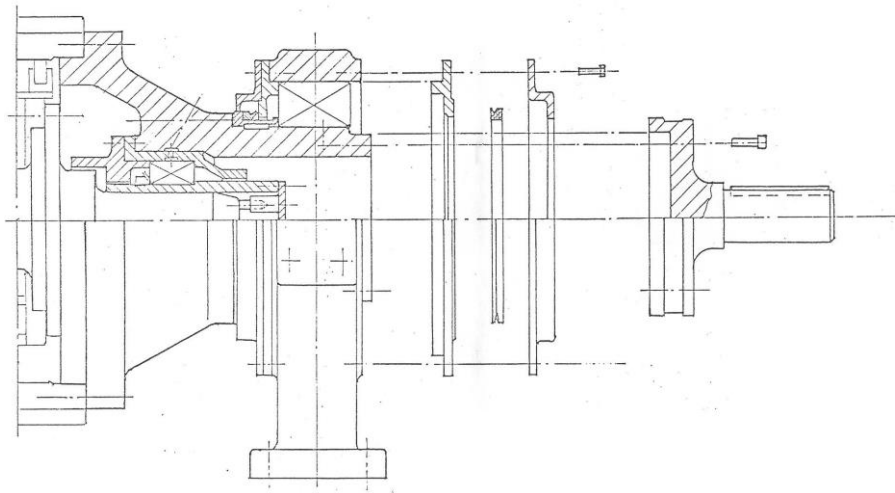


Рис.3. Конструкция подшипникового узла приводной стороны отсасывающего вала БДМ.

Другая проблема объективной вибродиагностики подшипников качения, особенно больших диаметров при небольшом числе оборотов, связана с их конструктивными отличиями. При одинаковых наружных размерах и грузоподъёмности подшипники могут отличаться количеством тел качения, их диаметром и углом контакта, что полностью меняет их характерные частоты, например, на одном из нижних валов прессовой части БДМ с приводной стороны установлен подшипник ГПЗ 3003160 имеющий следующие параметры: число тел качения - 28 шт, диаметр тел качения 36 мм, угол контакта - 10° . Заказчиком была предоставлена информация, что установлен подшипник производства SKF 23060 имеющий 26 тел качения, диаметр тел качения 40 мм и угол контакта $8,833^{\circ}$. На рисунке 4 представлен спектр с расчётными характерными частотами дефекта наружного кольца подшипника SKF 23060, то есть частоты не совпадают с пиками в спектре, при этом пики в спектре полностью соответствуют характерным частотам дефекта наружного кольца подшипника ГПЗ 3003160.

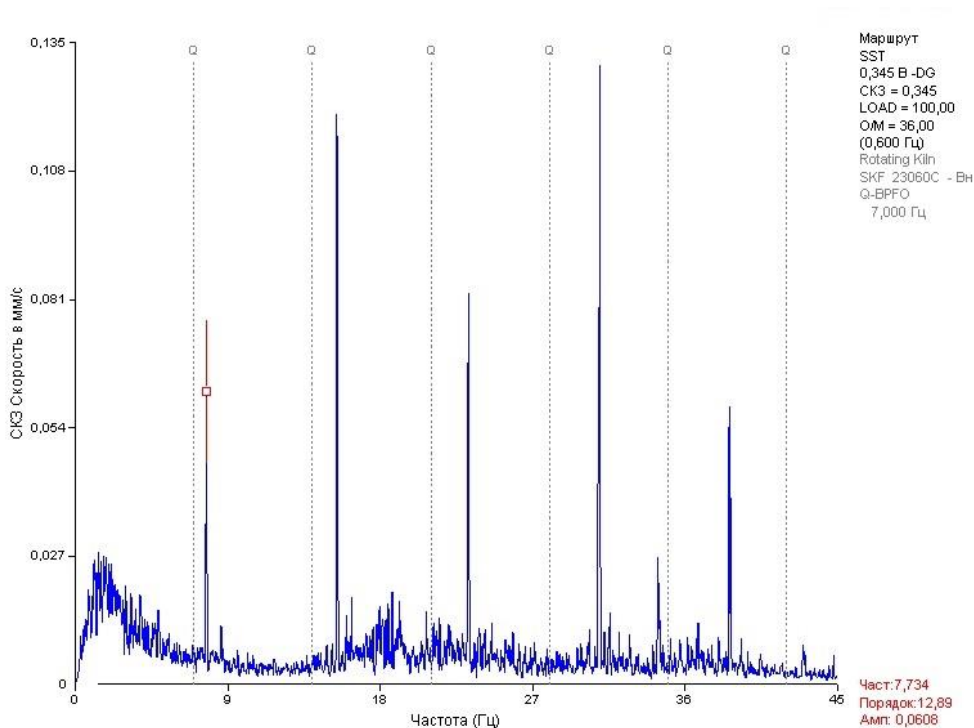


Рис.4. Спектр с расчётными характерными частотами дефекта наружного кольца подшипника SKF 23060

При разборке подшипникового узла было выявлено выкрашивание металла на дорожке качения наружного кольца (см. рис.5).



Рис.5. Выкрашивание металла на дорожке качения наружного кольца

Как видно из всего выше сказанного, если дефект проявляется в прямом спектре это означает, что он имеет значительное развитие и подшипник требует скорейшей замены. Вместе с тем дефекты внутреннего кольца значительно сложнее обнаружить в прямом спектре даже при значительном дефекте, так как оно расположено дальше от датчика вибрации и зона нагружения постоянно меняется (см. Рис.6.)

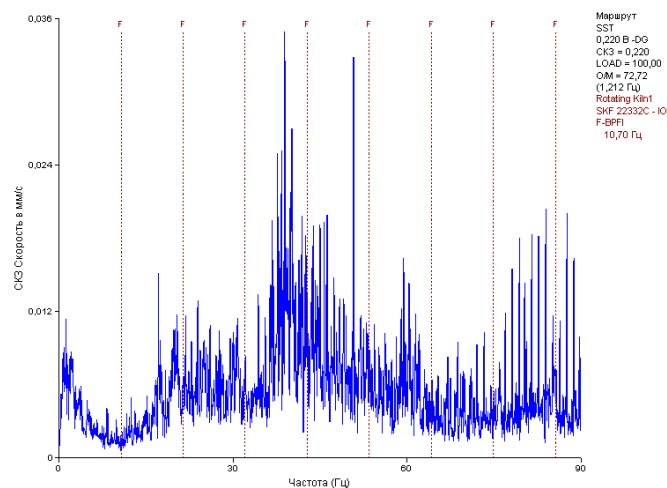


Рис.6. Спектр с расчётными характерными частотами дефекта внутреннего кольца

Как видно из рисунка 6 обнаружить в спектре дефект внутреннего кольца затруднительно. В этом случае применяется дополнительная обработка вибросигнала «реаквие» (см.рис.7).

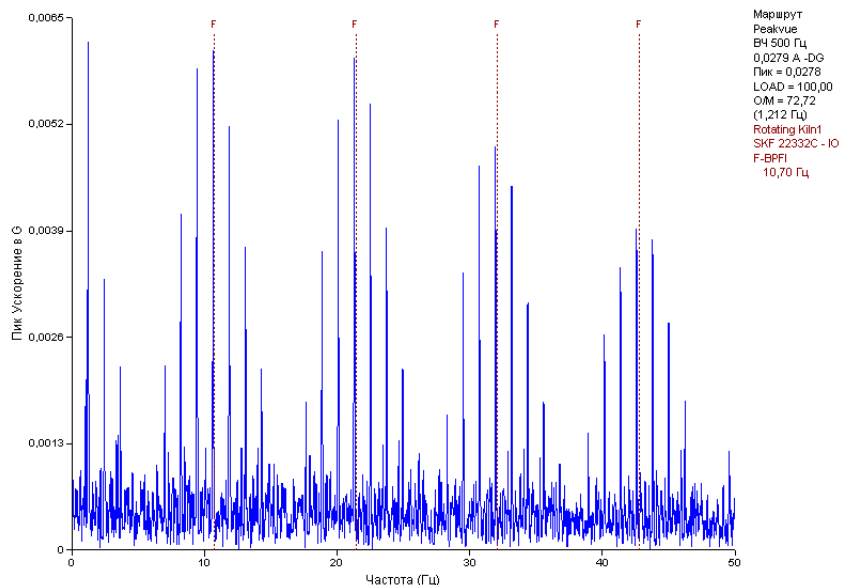


Рис.7. Обработанный сигнал вибрации с дефектом внутреннего кольца

По этим данным можно однозначно сказать, что имеется дефект внутреннего кольца из-за характерной формы сигнала и совпадения пиков с расчётными частотами. При разборке было обнаружено выкрашивание металла на одной из дорожек внутреннего кольца (см.рис.8).



Рис.8. Выкрашивание металла на одной из дорожек внутреннего кольца подшипника

Специалисты [отдела технического сервиса](#) BALTECH аттестованы Ростехнадзором в области неразрушающего контроля по ВД и ТК методам. Применяемые при выполнении работ по диагностике и техническому сервису приборы фирм CSI, Fixturlaser, BALTECH позволяют локализовать дефекты подшипниковых узлов без разборки и без остановки оборудования.