

Борисюк Д. В.

*Винницький
національний
аграрний університет*

Borysyuk D. V.

*Vinnitsia National
Agrarian University*

УДК 534.2: 621.37/39 (075)

ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

В статье предлагается рассмотреть источники и диагностические признаки дефектов и неисправностей подшипников качения.

Кратко описаны существующие дефекты и неисправности подшипников качения; причины вибрации подшипников качения и их последствия. Приведены особенности диагностирования подшипников качения виброакустическим методом.

Графически представлены амплитудно-частотный спектр огибающей виброускорения подшипника качения с дефектами внешней и внутренней обоймы.

Доказано, что амплитуда вибрации на частоте дефекта подшипника изменяется (модулируется) с частотой вращения. Проанализировано виброакустический сигнал получен с помощью оборудования для виброакустической диагностики подшипника качения с дефектами внешней и внутренней обоймы.

Ключевые слова: *вибрация, удар, шум, дефект, подшипник, частота, виброакустическая диагностика.*

Введение. Подшипники качения служат в качестве опор и фиксируют положение валов в машине. В понятие подшипников “качения” входят как шариковые, так и роликовые подшипники. В подшипниках качения используется вращательное движение, а в подшипниках скольжения - скольжение поверхностей [1].

Неисправность подшипников качения может быть выявлена до их выхода из строя.

Многолетний опыт показывает, что только чуть менее 10% подшипников дорабатывает до окончания проектного срока службы. Около 40% отказов связано с недостаточной смазкой и около 30% вызвано неверной установкой, т.е. несоосностью или перекосом при монтаже. Около 20% приходится на другие причины: перегрузки, дефекты изготовления и т.д [2].

Однако, даже при идеальном изготовлении, сборке и т.п. неисправности могут происходить также вследствие усталости материалов.

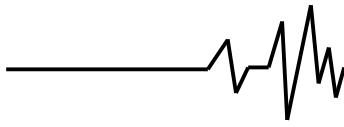
Поэтому диагностика состояния подшипников во время работы и планирование их технического обслуживания приобретает все большее значение.

Повреждения подшипников могут быть распознаны в процессе измерения вибраций по характерным частотам повреждений и трендам вибрации.

Причины вибрации. Когда шарик перекатывается через дефектное место возникает удар, направленный по вектору действующей нагрузки в сторону внешней обоймы подшипника. Удар преобразуется в виброакустические импульсы, которые через внешнюю обойму передаются на корпус подшипника, в котором он установлен. По причине своего происхождения это явление иногда называют ударной вибрацией. Оно характеризуется резким снижением долговечности подшипников в сравнении с нормальным сроком службы.

Длительность ударного импульса примерно составляет несколько микросекунд. Спектр импульсов содержит высокочастотные составляющие.

Однако элементы подшипника вращаются пропорционально скорости вращения вала (внутреннего кольца (обоймы)) и происходит нелинейное взаимодействие ударного импульса с вращающимися элементами. В результате спектр ударного



импульса модулируется низкочастотным сигналом вращающихся элементов. Поэтому виброакустический сигнал присутствует в широком диапазоне частот начиная от единиц герц и до десятков и сотен килогерц. Первый максимум в спектре находится в диапазоне от 500 Гц до 3 кГц [3].

Дефекты подшипников качения являются наиболее распространенным типом неисправности, подлежащим вибродиагностике. Дефектный подшипник генерирует вибрационные составляющие, которые не кратны в точности оборотной частоте f_0 . Присутствие в спектре вибрации таких составляющих является сигналом неисправности подшипника, требующим немедленной проверки и исключения других возможных причин.

Частоты дефектов [4]:

- тела качения (BSF), Гц

$$f = \frac{R}{a} f_0 \left| 1 - \left(\frac{a}{R} \cos \beta \right)^2 \right|;$$

- сепаратор (FTF), Гц

$$f = \frac{f_0}{2} \left(1 - \left(\frac{a}{R} \cos \beta \right) \right);$$

- внешняя обойма (BPFO), Гц

$$f = \frac{n}{2} f_0 \left(1 - \frac{a}{R} \cos \beta \right);$$

- внутренняя обойма (BPFI), Гц

$$f = \frac{n}{2} f_0 \left(1 + \frac{a}{R} \cos \beta \right);$$

где a – радиус шарика; R – радиус окружности, проведенный через центры шариков; b – угол контакта; n – количество тел качения; f_0 – относительная скорость вращения, внешней и внутренней обоймы.

Хорошими приближениями для частот дефектов наиболее широко распространенных подшипников являются следующие соотношения [4]:

- дефект наружного кольца (BPFO) = число тел качения (n) x 0.4 оборотной частоты (f_0);

- дефект внутреннего кольца (BPFI) = число тел качения (n) x 0.6 оборотной частоты (f_0);

- сепараторная частота (FTF) = 0.4 оборотной частоты (f_0).

Количество тел качения в большинстве подшипников составляет обычно от 8 до 12, но в подшипниках очень большого диаметра или

игольчатых подшипниках, это число может быть значительно больше.

Износ подшипников качения. На начальных стадиях развития дефекта подшипника в спектре вибрации появляются характерные некротные частотные компоненты, называемые частотами дефектов подшипников, а также их гармоники. Частоты дефектов с уровнем 0.15 мм/с (67 VdB) и выше считаются значительными. Иногда новый подшипник также создает подшипниковые частоты, что может быть связано с повреждениями при установке, транспортировке или дефектами изготовления [5].

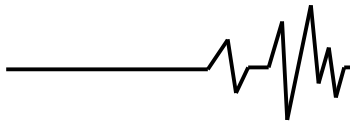
Если дефект подшипника очень небольшой, например, трещина на одном из колец, то в спектре появятся гармоники частоты дефекта, причем амплитуда на его основной частоте будет очень маленькой. Если дефект возникает в виде скола кольца большей площади, то обычно основная частота дефекта подшипника выше, чем ее производные. По мере развития дефекта возрастает общий уровень частот дефектов, а также общий уровень широкополосного шума (рис. 1).

Существует много различных вариантов развития спектральных структур, вызванных неисправностями подшипников. Они определяются характером начального дефекта, скоростью и нагрузкой.

Если дефект расположен на внутреннем кольце (рис. 2), то будет происходить амплитудная модуляция частоты дефекта подшипника частотой вращения. В результате вокруг частоты дефекта появятся боковые полосы с шагом f_0 . Амплитудная модуляция возникает из-за того, что дефект на внутреннем кольце входит и выходит из зоны нагрузки подшипника один раз за оборот.

При нахождении в зоне нагрузки дефект вызывает сильную вибрацию на частоте прохождения шариков, а когда он вне зоны нагрузки – очень слабую. То есть амплитуда вибрации на частоте дефекта подшипника изменяется (модулируется) с частотой вращения, что приводит к появлению боковых составляющих (полос).

Боковые полосы, расположенные на расстоянии f_0 вокруг частот дефектов подшипника, являются верным признаком его развивающегося износа и почти всегда указывают на дефект внутреннего кольца. Необходимо заметить также, что из-за увеличившегося зазора в подшипнике в спектре появились гармоники оборотной частоты, и становится заметной вторая гармоника подшипниковой частоты дефекта.



Иногда при сильном дисбалансе ротора дефект внутреннего кольца не сопровождается амплитудной модуляцией. Это объясняется тем, что центробежная сила дисбаланса все время создает нагрузку в одном и том же положении на периферии внутреннего кольца. Такое часто случается в вертикальных машинах, где сила тяжести не создает нагрузки ни на одну из сторон подшипника.

Еще один пример боковых полос в спектре подшипника связан с сепараторной частотой (FTF). Она равна частоте вращения сепаратора внутри подшипника. Если одно из

тел качения имеет скол, трещину или, что еще хуже, развалилось на кусочки, то, находясь в зоне нагрузки, оно будет производить вибрационный шум, а вне ее - оставаться тихим. Вращаясь в подшипнике вместе с сепаратором, оно проходит через зону нагрузки с частотой дефекта сепаратора. Тем самым осуществляется амплитудная модуляция частот дефектов подшипника сепараторной частотой, и, в результате, вокруг последнего появляются боковые полосы с шагом частоты дефекта сепаратора.

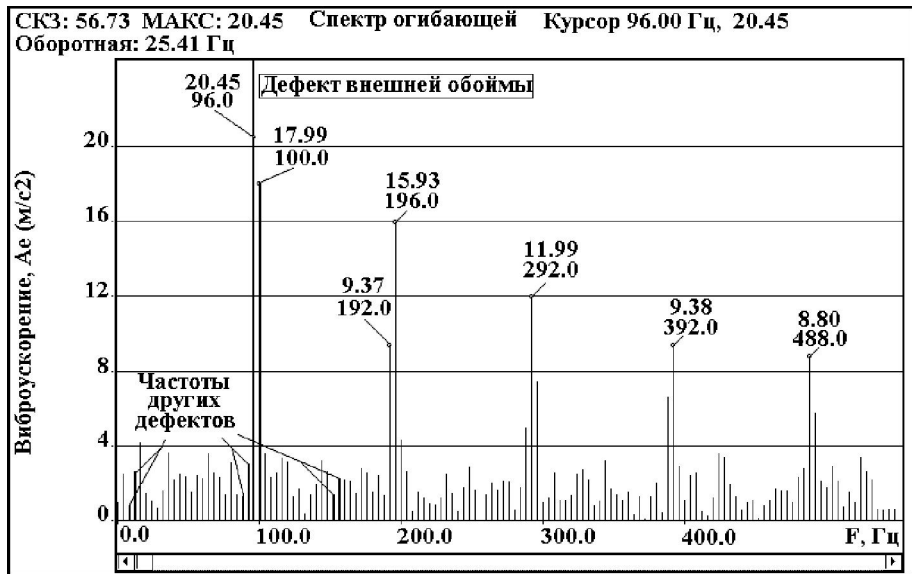
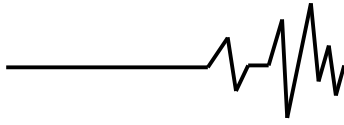


Рис. 1. Амплитудно-частотный спектр огибающей виброускорения подшипника качения с дефектами внешней обоймы



Рис. 2. Амплитудно-частотный спектр огибающей виброускорения подшипника качения с дефектами внутренней обоймы



Финальная стадия износа подшипника иногда называется термальной, когда подшипник становится горячим, а смазка в нем разрушается. Результат - катастрофическое повреждение, сопровождающееся плавлением тел качения и/или колец. На этой стадии, в вибрационном спектре повышается шумовой фон.

Список использованных источников

1. Костюков В.Н., Науменко А.П. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Костюкова. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 108 с.
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
4. Рагульскис К.М., Юркаускас А.Ю., Аступенас В.В. Вибрации подшипников. – Вильнюс: Минтис, 1974. – 390 с.
5. Явленский А.К., Явленский К.Н. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.

Список источников в транслитерации

1. Kostyukov V.N., Naumenko A.P. Prakticheskiye osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki mashinnogo oborudovaniya: Ucheb. posobiye / Pod red. V.N. Kostyukova. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2002. – 108 s.
2. Genkin M.D., Sokolova A.G. Vibroakusticheskaya diagnostika mashin i mekhanizmov. – M.: Mashinostroyeniye, 1987. – 288 s.
3. Pavlov B.V. Akusticheskaya diagnostika mekhanizmov. – M.: Mashinostroyeniye, 1971. – 224 s.
4. Ragul'skis K.M., Yurkauskas A.YU., Astupenas V.V. Vibratsii podshipnikov. - Vil'nyus: Mintis, 1974. – 390 s.
5. Yavlenskiy A.K., Yavlenskiy K.N. Vibrodiagnostika i prognozirovaniye kachestva mekhanicheskikh sistem. – L.: Mashinostroyeniye, 1983. – 239 s.

ВІБРОАКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА ДЕФЕКТІВ І НЕСПРАВНОСТЕЙ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

Анотація. В статті пропонується розглянути джерела і діагностичні ознаки дефектів і несправностей підшипників кочення.

Коротко описані існуючі дефекти і несправності підшипників кочення, причини вібрації підшипників кочення та їх наслідки. Наведено особливості діагностування підшипників кочення віброакустичним методом.

Графічно представлені амплітудно-частотний спектр обвідної віброприскорення підшипника кочення з дефектами зовнішньої і внутрішньої обойми. Доведено, що амплітуда вібрації на частоті дефекту підшипника змінюється (модулюється) з частотою обертання.

Проаналізовано віброакустичний сигнал отриманий за допомогою обладнання для виброакустической діагностики підшипника кочення з дефектами зовнішньої і внутрішньої обойми.

Ключові слова: вібрація, удар, шум, дефект, підшипник, частота, віброакустична діагностика.

VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS OF DEFECTS AND FAULT OF ROLLING BEARINGS

Annotation. The article suggests to consider sources and diagnostic symptoms of defects and faults of rolling bearings.

Briefly describes the existing defects and faults of rolling bearings, the causes vibration of rolling bearings and their consequences.

Especially given the diagnosis of rolling bearings vibroacoustic method. Graphically presented amplitude-frequency spectrum envelope acceleration rolling bearing defects external and internal cage. It is proved that the vibration amplitude of the bearing defect frequency is changed (modulated) with the frequency of rotation.

Analyzed vibroacoustic signal obtained by vibroacoustic diagnostics equipment for rolling bearing defects with external and internal cage.

Key words: vibration, shock, noise, defect, bearing, speed, vibroacoustic diagnostics.