

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

(перевод материалов фирмы IRD)

Обнаружение дефектов подшипников качения

Для большого числа высокопроизводительных вращающихся машин, работающих на высоких частотах вращения, используются подшипники качения. Такие машины часто работают продолжительное время в неблагоприятных условиях и, когда их подшипники выходят из строя, стоимость простоя может быть очень высокой.

Контроль, анализ и решение проблем, связанных с подшипниками, имеют в современной промышленности большое значение. Без использования хорошо налаженной системы технического обслуживания, основанной на прогнозировании состояния, трудно бороться с проблемами вибрации и работоспособности подшипников.

Целью данной статьи является описание дефектов подшипников качения, рекомендуемые методы анализа вибрации, а также возможные способы по минимизации времени простоя машин с использованием системы прогнозного обслуживания.

Типичные отказы подшипников и их причина

Производство подшипников качения осуществляется в условиях жестких требований к их качеству. Это одни из наиболее точных устройств, выпускаемых в машиностроении. При идеальных рабочих условиях подшипники могут непрерывно эксплуатироваться в течение многих лет. Вследствие того, что рабочие условия редко бывают идеальными, подшипники никогда не реализуют своих потенциальных возможностей с точки зрения ресурса.

Срок службы подшипников качения зависит от условий их производства, хранения, обслуживания, установки, нагрузки и условий работы. В таблице 1 даны некоторые типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие. Подробно они описываются в последующих главах.

Таблица 1. Типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие.

Причина	Эффект	№рис.
Чрезмерная нагрузка	Поверхностное растрескивание Перегрев Текучесть металла	16 17
Нагрузка от дисбаланса	Повреждение дорожек качения	
Расцентровка	Натиры дорожек качения Поверхностное растрескивание Повреждение сепаратора	16 17
Дефекты насадки подшипника на вал	Растрескивание и выкрашивание материала подшипника	2
Неправильная установка	Растрескивание и выкрашивание Повреждение при сборке	2 12
Неправильный зазор в подшипнике	Растрескивание и выкрашивание Абразивный износ Фреттинг-коррозия Повреждение при сборке Несоосность колец	2 3 5 12 14
Неподходящая или неправильная смазка	Усталостное выкрашивание Заклинивание Задиры поверхности дорожек качения Борозды на поверхности дорожек Перегрев	1 9 10 11 13
Плохое уплотнение (герметизация)	Абразивный износ Воздушная коррозия Задиры Борозды на поверхности дорожек	3 4 10 11
Высокая вибрация конструкции, ударные нагрузки, неправильная установка и транспортирование	Бриннелирование дорожек качения Псевдобриннелирование	6 7
Электрический ток	Электроповреждения	8

Усталостные разрушения поверхности связаны с проблемами смазки, такими как неподходящая смазка, низкая ее вязкость и разрывы смазочной пленки. В начальной стадии развития дефекта поверхность выглядит как бы заиндевевшей в некоторых местах, как показано на рис.1. При дальнейшем развитии дефекта поверхность дорожки начинает отслаиваться и растрескиваться (следует отметить, что это отслаивание не столь серьезно как сколы на дорожке). При накоплении усталости в материале дорожки ее поверхность становится шероховатой, подшипник начинает шуметь и излишне нагреваться. Постоянная перегрузка, плохо обработанные и загрязненные поверхности неизбежно ведут к усталостным явлениям. Этого можно избежать или существенно замедлить, если подшипник будет чистым и хорошо смазанным.

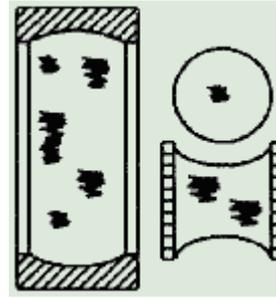


Рис. 1. Усталость дорожки качения. Поверхность растрескивается и отслаивается.

Выкрашивание поверхности схоже с усталостью поверхности, но отличается от него более сильной степенью повреждения подшипника и может указывать на то, что подшипник исчерпал ресурс усталости. Рисунок 2 показывает, что растрескивание и сколы поверхностей характеризуются глубокими трещинами и расслаиванием. Это происходит, когда под поверхностные трещины, возникающие в местах дислокации неметаллических включений в стали подшипника, доходят до поверхности. Преждевременное растрескивание часто вызывается плохой посадкой вала, искривлениями корпуса и неправильной установкой, т.е. условиями, вызывающими слишком высокие циклические напряжения.

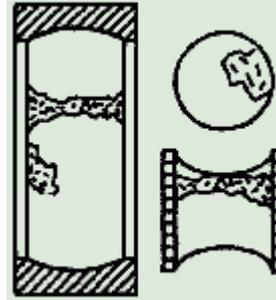


Рис.2. Выкрашивание поверхности. Глубокие трещины и расслаивание.

Абразивный износ: Абразивное истирание металла, показанное на рис.3, разрушает поверхности элементов подшипника. В зависимости от типа абразивного износа, поверхность приобретает или тусклый серый металлический цвет или же зеркально полируется. Иногда подшипник вследствие изменения его геометрии из-за износа резко выходит из строя. Мелкая абразивная пыль является обычной причиной такого отказа; эта пыль может попасть в подшипник при установке, через плохие уплотнения или с грязной смазкой. Поэтому при монтаже подшипника рекомендуется протирать каждый элемент чистой тканью перед смазкой и содержать в чистоте рабочие поверхности. Хорошие уплотнения, промываемые уплотнения и чистые смазочные материалы помогут предотвратить загрязнение после установки подшипника

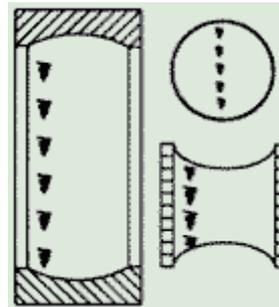


Рис.3. Абразивный износ. Повреждение поверхности элементов качения

Атмосферная коррозия: Коррозия вызывается влагой, которая попадает в подшипник из атмосферы. Влажный воздух, попадая во внутрь подшипника, при охлаждении окружающей среды конденсируется, разрывая смазочную пленку в местах контакта тел и дорожек качения. Атмосферную коррозию, показанную на рис.4, можно предотвратить, используя хороший сальник, консистентную смазку и хорошо смазывать подшипник. В некоторых случаях могут оказаться необходимыми специальные уплотнения, чтобы исключить разбрызгивание смазки. Подшипник необходимо заполнять смазкой при каждой более менее продолжительной остановке машины.

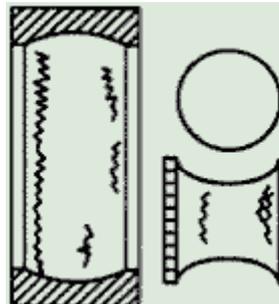


Рис.4. Атмосферная коррозия. Внешний вид коррозии

Фреттинг-коррозия: Как показано на рис.5, фреттинг-коррозия очень похожа на обычную коррозию. Она возникает на посадочных поверхностях подшипника на вал, а также и на других сопрягаемых поверхностях. Она вызывается незначительными (микроскопическими) нагрузками. Частицы, образующиеся в результате износа имеют черный цвет при отсутствии воздуха и красные - в его отсутствие. Фреттинг-коррозия может вызвать как ослабление посадки внутреннего кольца на валу; так и его заклинивание, при котором его невозможно будет снять. Фреттинг-коррозия также приводит к разламыванию кольца. Предотвратить можно следуя рекомендациям производителя относительно допусков и убедившись, что элементы подогнаны наилучшим образом.



Рис.5. Фреттинг-коррозия на наружной стороне внешнего кольца

Бриннелирование: При бриннелировании на поверхности колец появляются регулярно следующие друг за другом выемки. Это является следствием пластических деформаций металла в местах выемок, которые возникают вследствие перенапряжения металла. Результат бриннелирования дорожек качения показан на рис.6. Бриннелирование является следствием высоких статических или ударных нагрузок, неправильной технологии установки подшипника, сильных механических ударов, возникающих при падении машины. Бриннелирование можно предотвратить, используя при установке подшипника только давление вместо ударов. Если ударных нагрузок невозможно избежать как при установке, так и в процессе эксплуатации, тогда необходимо использовать подшипники, предназначенные для более высоких нагрузок.

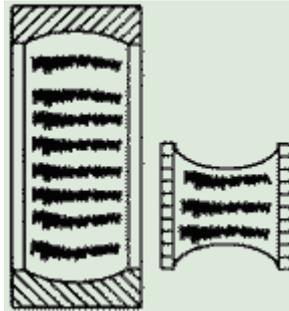


Рис.6. Бриннелирование дорожек качения. Регулярные выемки на дорожках качения

Псевдобриннелирование: как и просто бриннелирование характеризуется выемками на дорожках качения. Однако в отличие от простого бриннелирования выемки характеризуются не только продавливанием металла в зонах пластических деформаций, но и его сдвигом, в результате этого места повреждения не видны даже при внимательном осмотре. На рис.7 показан результат псевдобриннелирования. Псевдобриннелирование, есть результат сильных вибраций машины в нерабочем состоянии. Иногда это происходит при транспортировке. Также на это влияют вибрации других, близко расположенных машин. Подобной проблемы можно избежать, обеспечивая правильное закрепление транспортируемых валов с подшипниками и изолируя машину от соседних вибрирующих агрегатов, используя для этого отдельные фундаменты.

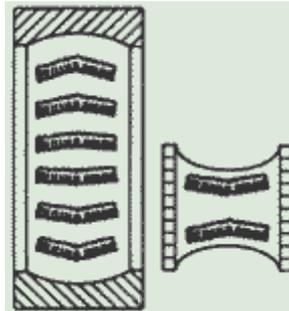


Рис.7 Псевдобриннелирование. Выемки на дорожках качения за счет сдвига металла.

Электроповреждения. Точечный питтинг (сваривание) в результате электрического сваривания часто имеет регулярный характер на поверхностях элементов качения и на дорожке качения. Он возникает в результате прохождения через подшипник электрического тока. На рис.8 показаны дорожки подшипника. Электрический ток может вызвать также и случайное выкрашивание. Наиболее распространенными причинами электроповреждений является статическое электричество, создаваемое ремнями транспортера и токами сварочных аппаратов. Поэтому транспортеры должны быть снабжены заземляющими лентами, а сварочное оборудование необходимо заземлять.

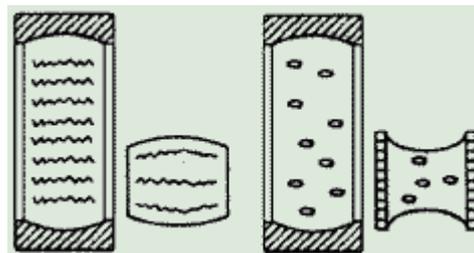


Рис.8. Электроповреждения. Питтинг поверхности дорожек качения из-за прохождения сильного тока. Канавки на рабочих поверхностях сферического ролика, вызванные электротокком.

Натирь: натирь возникает в результате перемещения металла с одной поверхности на другую. Натирь в том виде, как они показаны на рис.9, вызваны проскальзыванием из-за перегрузки подшипника и недостаточной смазки. Натирь на торцах цилиндрических роликов могут возникать из-за нерасчетной осевой нагрузки на подшипник. Также это может быть следствием неправильной сборки подшипника или недостаточной смазки

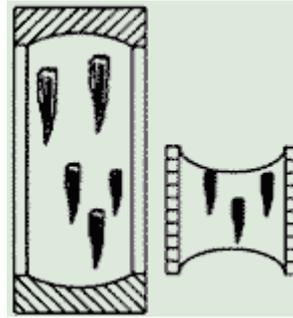


Рис.9. Натирь на телах и дорожках качения из-за недостаточной смазки

Задиры на поверхности: являются следствием абразивного износа и проявляются в виде глубоких царапин на дорожках и телах качения. Общий вид сильного изодранной поверхности показан на рис.10. Отдельные задиры поверхности создают точки концентрации напряжения, в которых возможно проявление усталостных явлений. Задиры поверхности вызываются относительно большими частицами материала, которые попадают в подшипник и двигаются по дорожкам при движении тел качения. Как и другие проблемы, связанные с загрязнением, задиры поверхности можно предотвратить, используя хорошие уплотнения и чистую смазку подшипника.

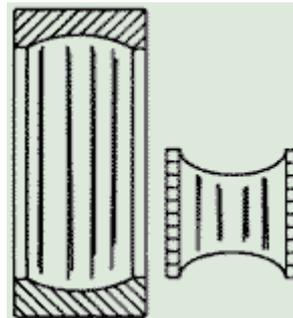


Рис.10. Задиры поверхности дорожек и тел качения в виде глубоких царапин

Выбоины поверхности: пример показан на рис.11. Этот вид повреждения подшипников напоминает бринеллирование, т.к. выбоины скорее являются результатом пластических деформаций, чем износа. Тем не менее, они возникают при повреждении поверхности (царапины, истирание мелкими посторонними частицами, которые являются результатом износа или попадают в подшипник при его работе). Тела качения при вращении захватывают посторонние частицы, попадающие в подшипник. Эти частицы, попав на дорожку качения оставляют случайные насечки, в районе которых возникает концентрация напряжений и разрывы масляной пленки, что приводит к усталостному выкрашиванию металла и появлению выбоин. Вероятность возникновения выбоин уменьшается при использовании хороших уплотнений и частой смазки подшипников, которая вымывает различные посторонние частицы.

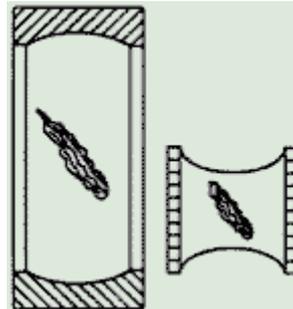


Рис.11. Выбоины, глубокие царапины, вызванные попаданием посторонних частиц в подшипник.

Повреждения при сборке: На рис.12 показан один из видов подобных повреждений. В этом примере внешнее кольцо было неправильно установлено; и когда подшипник был собран, ролики оставили вмятины на дорожках качения.

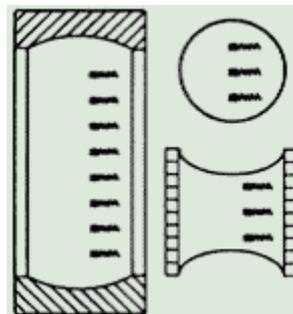


Рис.12. Повреждение подшипника при сборке из-за недостаточного опыта сборки.

Перегрев: На рис.13 представлен пример повреждения подшипника (изменение его геометрии) в результате перегрева и нагрузки. Обычно такие повреждения связаны с полным отказом подшипника. Перегрев часто обусловлен недостаточной смазкой, трением наружного кольца о вращающийся вал, излишним обжимом наружного кольца при установке в корпус машины или нерасчетной (высокой) частотой вращения вала. В отдельных случаях перегрев подшипника может быть обусловлен внешним источником, таким как термическая печь.

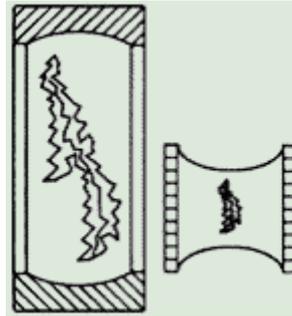


Рис.13. Обесцвечивание и повреждение металла, вызванное плохой смазкой и перегревом.

Несоосность колец: Основной причиной повреждения подшипника, показанного на рис.14 является несоосность колец, которая привела к фреттинг-коррозии и выкрашиванию. Несоосность ведет к высоким осевым нагрузкам, вызывающим усталостное разрушение и сильные сколы поверхности.

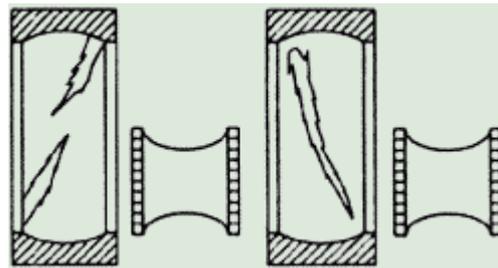


Рис.14. Повреждения подшипника из-за несоосности колец: а) несоосность внешнего кольца относительно вала; б) несоосность вала относительно корпуса подшипника.

Разрушение из-за дисбаланса: Дисбаланс ротора дает основную нагрузку на подшипник. Когда дисбаланс слишком велик, повреждения подшипника имеют вид, показанный на рис.15. Иногда такое повреждение можно обнаружить только в одном месте на внутреннем кольце. Для уменьшения дисбаланса минимально необходимым является балансировка отдельных частей ротора с максимальной возможной точностью, особенно при работе на высоких скоростях.

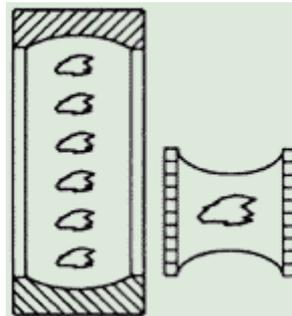


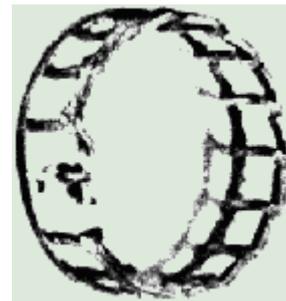
Рис.15. Разрушение от избыточного дисбаланса ротора

Раскалывание, раздробление деталей: Причиной является большая перегрузка подшипника. На рис.16 показан типичный пример такого раскалывания. Как видно из рассмотрения рисунка, область усталостного выкрашивания на внутреннем кольце охватывает всю ширину кольца, а сепаратор разбит на кусочки из-за поперечных трещин в каждом гнезде шарика



Рис.16. Раскалывание.

Повреждение сепаратора: Повреждения сепаратора, подобные показанному на рис.17, проявляются в образовании в нем трещин его разрушении. Это в свою очередь ведет к быстрому выходу из строя подшипника в целом при этом затушевывается тот факт, что первопричиной этого был сепаратор. Чаще всего причиной выхода из строя сепаратора является его изгиб, возникающий при движении шариков по взаимно пересекающимся путям из-за несоосности. Также повреждение сепаратора может быть вызвано неправильной сборкой, загрязнением или редким смазыванием подшипника.



Диагностирование неисправностей подшипников

Подшипники качения, имеющие повреждения на дорожках, телах качения или сепараторе генерируют силы, которые передаются на внешний корпус подшипника и окружающую его конструкцию. Эти силы могут быть по своей природе периодическими, непериодическими или случайными и часто проявляются на высоких частотах вибрации.

Дефекты подшипника проявляются на характерных частотах, одни из которых связаны с его геометрическими параметрами, а другие являются чисто случайными. Например, вибрационные характеристики, показанные на рис.18 были сняты на машине с неисправным шариковым подшипником. Как видно на графике, в спектре ускорения проявляются высокочастотные составляющие.

График зависимости энергии импульсов (gSE) от времени показывает, насколько высокочастотные вибрации подшипника нерегулярны или случайны по своей природе. Подобные графики, полученные с помощью вибронализатора, позволяют оценить флуктуацию или "скачки" амплитуды и частоты. Объяснить подобные явления можно, исследуя силы, генерируемые дефектами подшипника.

Подшипник с дефектами может генерировать вибрацию на 4-х типах частот: - на роторных частотах, кратных частоте вращения (частоты кинематического

- на собственных частотах;
- на суммарных и разностных частотах;
- на случайных частотах.

Ниже все они рассматриваются более подробно.

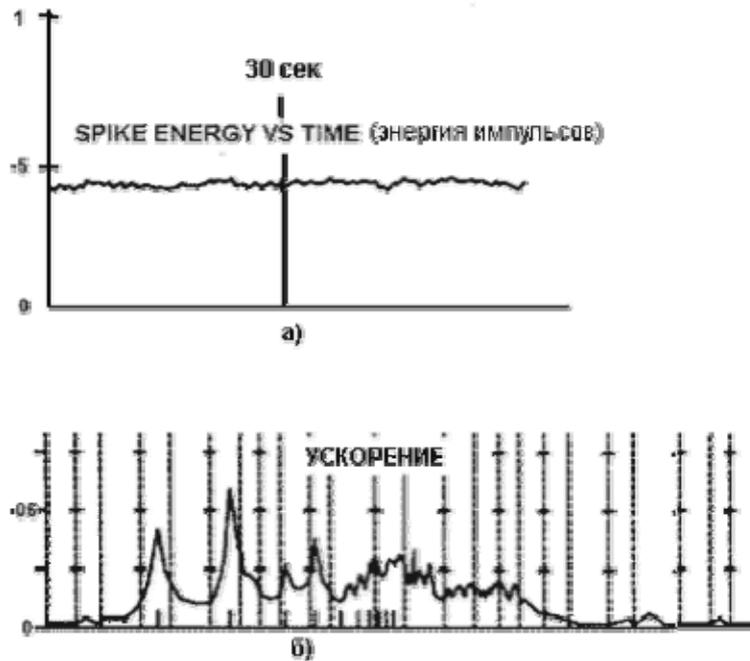


Рис. 18. Вибропараметры поврежденного подшипника: а) зависимость энергии пиков от времени ; б) спектр виброускорения.

Роторные

Неисправный подшипник генерирует вибрацию на следующих основных частотах, кратных частоте вращения сепаратора; частота вращения тела качения; частота перекатывания тел качения по внешнему кольцу.

Эти частоты можно вычислить, исходя из геометрических размеров элементов подшипника (диаметры тел и дорожек качения), а также количества тел качения, как показано на рис.19.

Вычисленные частоты не всегда точно совпадают с измеренными из-за проскальзывания шарика и несоответствия между реальным путем движения шарика и измеренным диаметром, который использовался в вычислениях.

Если Вы не знаете точно размеры подшипника, Вы можете по крайней мере оценить частоты перекатывания шарика по внутренней и внешней дорожкам.. **Как правило, частота перекатывания по внутренней дорожке примерно равна 60 % от частоты вращения умноженной на число тел качения.**

Предположим, что подшипник имеет 12 шариков и используется в машине, имеющей частоту вращения 3600 об/мин. Тогда для него, исходя из указанного правила, кратность частоты перекатывания по внутреннему кольцу от частоты вращения будет составлять $12 \times 0,6 = 7,2$, а сама частота равна $7,2 \times 3600 = 25920$ об/мин.

Что касается внешнего кольца, примерно 40% шариков проходят через заданную точку за каждый оборот вала. Оценочное значение частоты перекатывания шарика по внешнему кольцу для 12-ти шариков и частоты 3600 об/мин будет определяться как $0,4 \times 12 \times 3600$ (частота вращения) и составит 17280 об/мин.

Необходимо помнить, что подобные вычисления являются приближенными. Реальные частоты перекатывания могут значительно отличаться в зависимости от конфигурации подшипника.

В любом случае, знание частоты вращения шарика и частоты перекатывания часто полезно для анализа вибрации, возникающей в подшипнике, и для получения дополнительной информации о причине отказа. Например, если в подшипнике (с вращающимся внутренним кольцом) возник дефект на внутреннем кольце вследствие большого дисбаланса, при этом, в качестве первого признака его проявления в спектре вибрации скорее всего проявится частота перекатывания по внутреннему кольцу. Это связано с тем, что дисбаланс вызывает локальный дефект на кольце. Причина этого в том, что силы дисбаланса нагружают подшипник в ограниченной зоне кольца, где сила максимальна. При этом внешнее кольцо может разрушаться по всей длине окружности, пример такого разрушения приведен рис.20.

В противоположность сказанному, подшипник, подверженный действию внешних вибраций или в случае несоосности, вероятнее всего начнет разрушаться от внешнего кольца. Это значит, что частота перекатывания по внешнему кольцу первой проявит себя увеличением амплитуды по мере развития неисправности. Обратите внимание на вид дорожки, показанной на рис.21, она вызвана несоосностью.

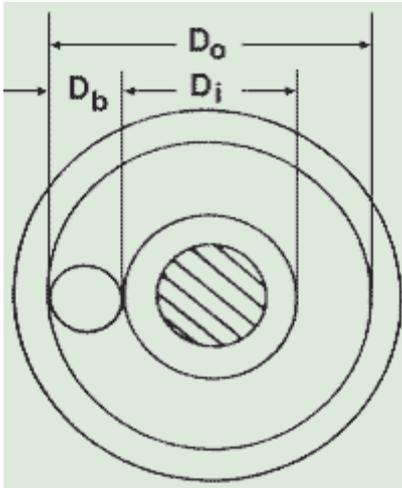
При разрушении тел качения в результате неправильной смазки, перегрева или электрических повреждений (рис.22), первыми в спектрах вибрации увеличиваются кратности, соответствующие частоте вращения тел качения, а не частоте перекатывания.

В некоторых случаях интересующие нас подшипниковые частоты можно обнаружить только путем тщательного анализа вибрации. Однако, в случае присутствия нескольких дефектов, разделить частоты, присущие тем или иным дефектам сложно. В этом случае требуется применение синхронного анализа для подавления паразитных составляющих.

Собственные**частоты**

Дополнительно к описанным частотам, ударное взаимодействие между телами и дорожками качения подшипника возбуждает колебания элементов машины и элементов подшипника на собственных частотах. Каждый элемент при ударном воздействии возбуждается на своей собственной частоте. Дефекты подшипника воздействуют ударными импульсами на различные части подшипника, заставляя их вибрировать по собственным формам колебаний.

Проявление собственных частот элементов подшипника достаточно тесно связано с роторными частотами. Но в отличие от частот кратных частоте вращения, вибрация на собственных частотах почти всегда порождается несколькими различными элементами подшипника, которые генерируют несколько различных частот различной амплитуды. Амплитуда на собственных частотах имеет тенденцию случайно флуктуировать.



Вращается внутреннее кольцо, внешнее кольцо - неподвижно.

Рис.19. Расчет частот кинематического возбуждения, генерируемых подшипником.

Дефект сепаратора или шарика:

$$F_{\text{cage}} = [D_i / (D_i + D_o)] \times \text{RPM}$$

Дефект шарика:

$$F_{\text{ball}} = [(D_o / D_b) \times D_i / (D_i + D_o)] \times \text{RPM}$$

Дефект внутреннего кольца:

$$F_{\text{inner}} = [D_o / (D_i + D_o)] \times M \times \text{RPM}$$

Дефект внешнего кольца:

$$F_{\text{outer}} = [D_i / (D_o + D_i)] \times M \times \text{RPM}$$

Где: D_i - диаметр внутреннего кольца

D_o - диаметр внешнего кольца

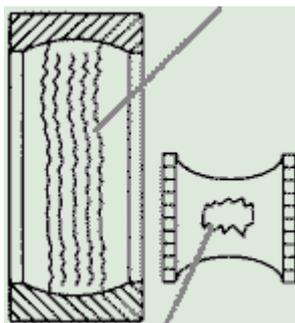
D_b - диаметр шарика

M - число тел качения

RPM - частота вращения вала

F - частота проявления дефекта.

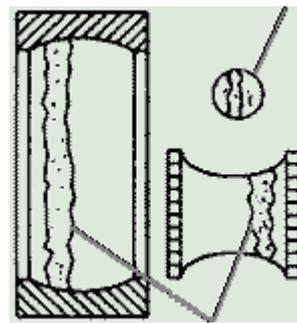
Шарик обкатывает внешнее кольцо по всей длине окружности



Повреждение в ограниченной области внутреннего кольца

Рис. 20. Кольцо, поврежденное дисбалансом.

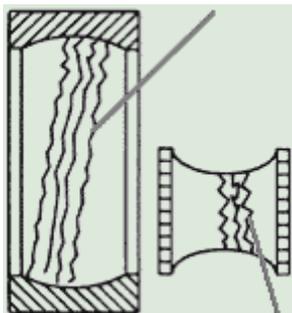
Тела вращения имеют царапины, раковины, сколы



Нерегулярные сколы и вкрапления материала на дорожках качения

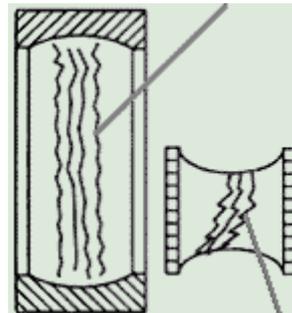
Рис. 22. Повреждение подшипника вследствие прохождения по нему электрического тока.

Непараллельный путь шарика по внешней дорожке



Широкий путь шарика по внешней дорожке

Широкий путь шарика по внутренней дорожке



Непараллельный путь шарика по внутренней дорожке

Рис. 21. Примеры повреждения дорожек качения подшипника вследствие несоосности.

Суммарные и разностные частоты

Одиночный дефект на внутреннем или внешнем кольце подшипника генерирует вибрацию на частоте перекачивания тела качения. В процессе развития неисправности размер области повреждения растет, внося свой вклад в развитие новых дефектов. Следовательно, будет наблюдаться увеличение числа частот и ширины спектра. Эти частоты будут модулироваться силами дисбаланса на частоте вращения вала или другими силами. В результате модулирования в спектре будет проявляться большое число суммарно-разностных частот. Например, предположим, что машина работает на частоте вращения 3600 об/мин и вычисленная кратность частоты перекачивания шарика для дефекта на внутреннем кольце равна 25292 циклов/мин. В спектре будут проявляться обе эти частоты, но кроме них, также будут проявляться суммарная ($3600 + 25292 = 28892$ циклов/мин) и разностная частоты ($25292 - 3600 = 21692$ циклов/мин). Как показано на рис.23, эффект модуляции проявляется в возникновении достаточно широкого спектра частот.

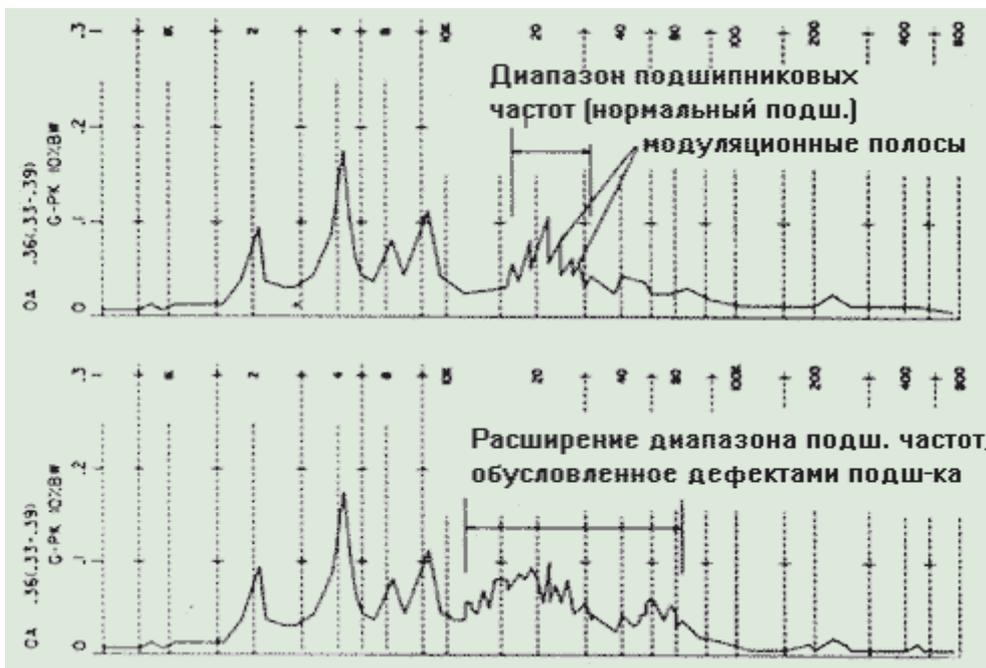


Рис.23. Примеры проявления суммарных и разностных частот.

Случайная высокочастотная вибрация

Когда повреждения подшипника связаны с усталостью, истиранием или другими подобными эффектами, порождаемые вибрации обычно являются случайными и высокочастотными. В спектрах таких вибраций нет заметных максимумов и сам сигнал является непериодическим, как в случае дискретного точечного выкрашивания дорожки качения. Уровень случайных вибраций также меняется случайным образом (см. рис.24). Как следует из рассмотрения рис.24, на котором изображено изменение сигнала во времени, уровень вибрации изменяется случайным образом. Случайные вибрации могут быть как широкополосными так и узкополосными. Исследование амплитудных и частотных характеристик случайных вибраций часто является полезным для понимания ее причин и серьезности дефектов. Хотя изменение уровня случайной вибрации во времени непредсказуемо, амплитуду этой вибрации можно измерить и оценить. Чем больше амплитуда этой вибрации, тем серьезнее дефект. Серьезность дефекта можно оценить с помощью измерений энергии импульсов (gSP), применение которой рассмотрено в следующем разделе.

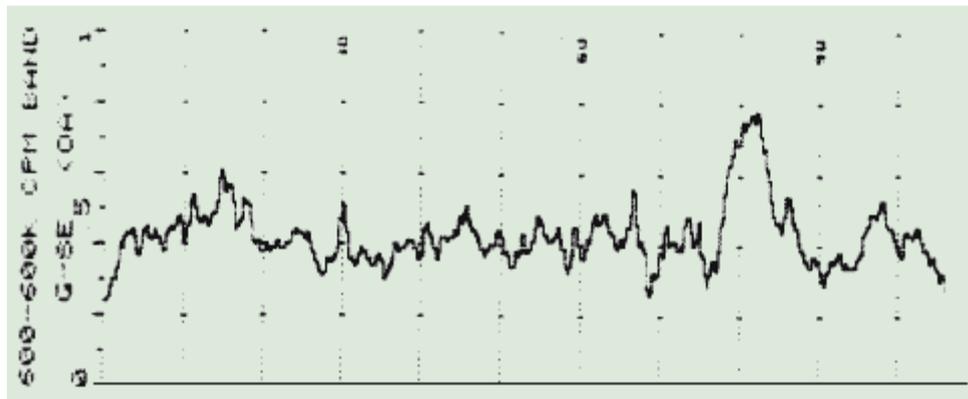


Рис.24. Зависимость амплитуды случайной вибрации от времени.

Измерение энергии импульсов (gSP)

Энергия импульсов определяется как "энергия вибрации, которая генерируется короткими ударными силовыми импульсами, импульсами при взаимодействии металл- металл, случайными вибрационными импульсами, распространяющимися по конструкции. Далее обсуждается, как измерения gSP могут быть использованы для оценки состояния подшипников качения.

Подшипники являются одними из наиболее точных узлов машины, поэтому их вибрации, когда подшипник правильно изготовлен малы по сравнению с вибрацией остальных узлов машины. На начальной стадии развития неисправности в подшипнике уровень его вибрации очень мал по сравнению с вибрацией других частей машины.

Общий уровень вибрации (нефильтрованный уровень виброскорости или ускорения), измеренный на корпусе машины, не позволяет оценить состояние подшипника до тех пор пока его неисправность не достигнет критической степени развития. Поэтому измерение общего уровня вибрации для контроля состояния подшипников является не эффективным.

Эффективным для этих целей является измерение энергии импульсов, которая измеряется в высокочастотной области и более чувствительна к изменению состояния подшипника, чем общий уровень вибрации. На рис.25 показан виброметр фирмы IRD модели 810, который обеспечивает измерение вибросмещения, виброскорости, виброускорения, а также уровня энергии импульсов, характеризующей неисправности подшипников и зубчатых передач.

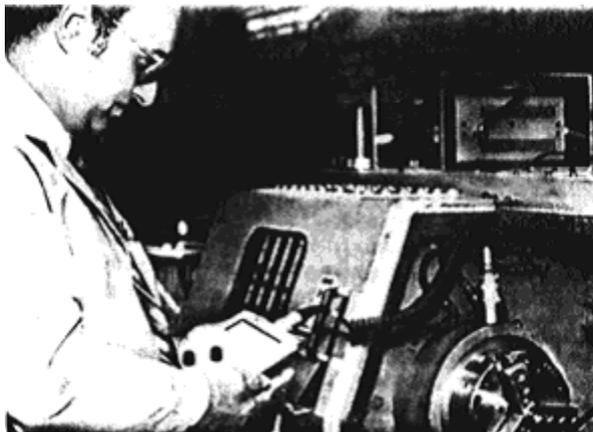


Рис.25. Виброметр модели 810 фирмы IRD.

Как показано на рис.26, дефекты дорожек и тел качения вызывают импульсные ударные воздействия на различные элементы подшипника. Эти воздействия, в свою очередь, возбуждают резонансные частоты различных элементов подшипника. Целый ряд приборов фирмы IRD позволяет измерять эти характеристики, обеспечивая получение информации о состоянии подшипника.

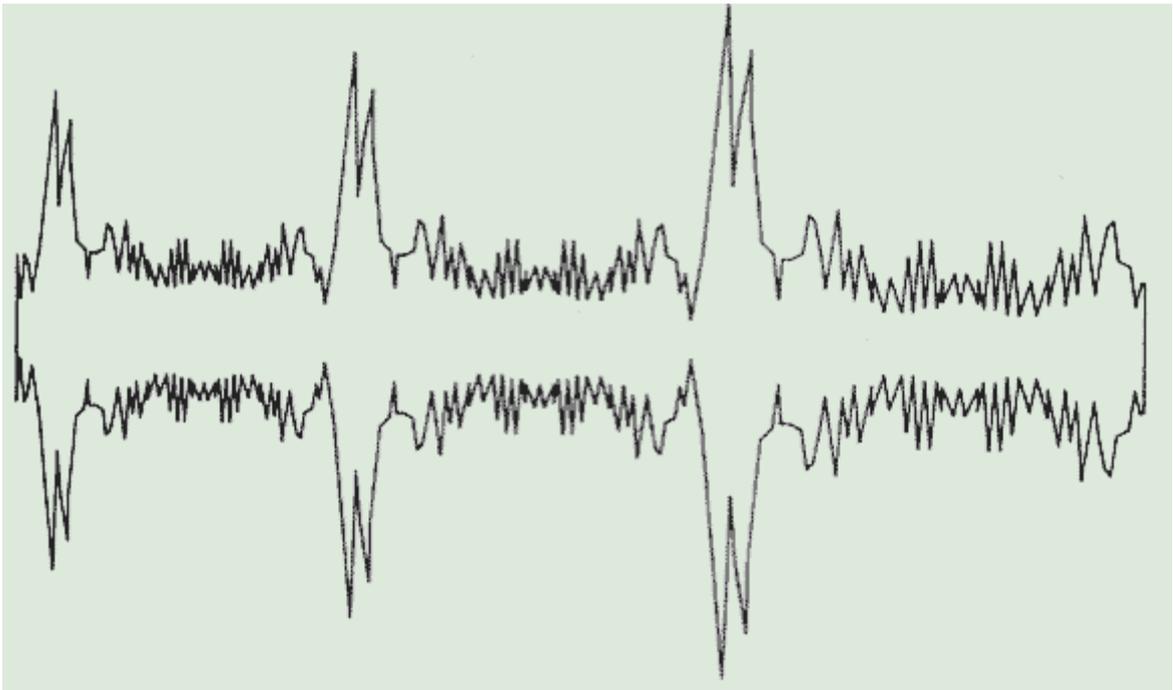


Рис.26. Пример сигнала энергии импульсов для поврежденного подшипника.

Акселерометр модели 970 фирмы IRD, установленный на шпильке на корпусе машины, имеет собственную частоту примерно 27000 Гц или 1620000 об/мин. Эта частота значительно выше частоты вибрации, возникающей из-за несоосности, дисбаланса, электричества, аэродинамических и гидравлических сил. В результате, единственными источниками вибрации, которые возбуждают собственные частоты акселерометра являются ударные силы, генерируемые неисправным подшипником или зубчатой передачей.

Для измерения энергии импульсов необходим фильтр высоких частот, отсекающий частоты ниже 5000 Гц (300000 об/мин), поэтому увеличение вибрации из-за дисбаланса и несоосности не вызывает увеличение энергии импульсов. При работе в режиме измерения энергии импульсов приборы фирмы IRD настроены таким образом, что они фиксируют только случайную вибрацию импульсного и ударного происхождения.

На рис.27 показан акселерометр, установленный на поверхности машины. Энергия импульсов, генерируемая подшипником, различными путями передается на внешнюю поверхность машины. Сигнал с акселерометра поступает на специальный блок обработки сигнала в приборе для измерения энергии импульсов, который преобразует поступающий сигнал таким образом, что выделяется только та его часть, которая связана с неисправностью подшипника. Единицы измерения энергии импульсов- gSE.*

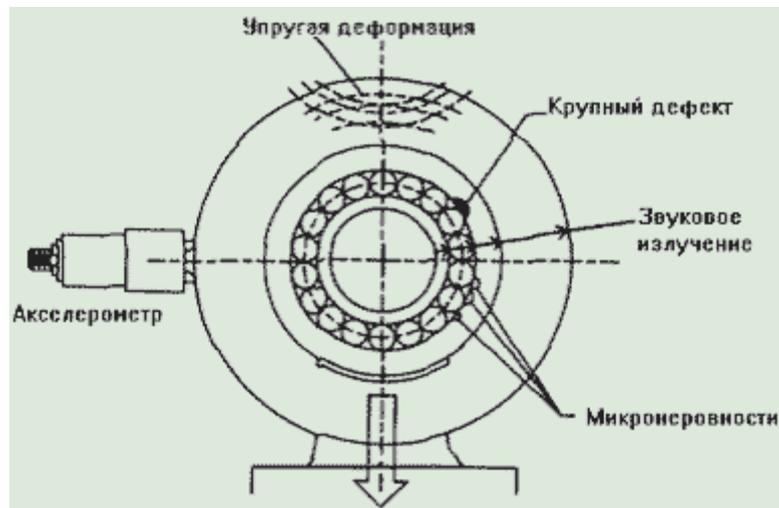


Рис.27. Возбуждение неисправным подшипником энергии импульсов (gSE).

Наблюдение за осциллограммой вибрационного сигнала также может оказаться полезным для обнаружения определенных частот вибрации подшипника. На рис.28 показан сигнал подшипника, имеющего дефект на внутренней дорожке. При прохождении тел качения через этот дефект генерируются пики, которые ясно видны на дисплее. Период этих колебаний можно приблизительно оценить по шкале нанесенной на экран осциллографа и затем его можно с вычисленным для конкретизации дефекта.

Вибросигнал меняется по амплитуде, так как дефект на внутреннем кольце вращается вместе с валом и, следовательно, постоянно меняет свое положение относительно установленного вибродатчика. Подобные изменения амплитуды могут выглядеть или как регулярная амплитудная модуляция синусоидальных колебаний, или как случайные изменения амплитуды.

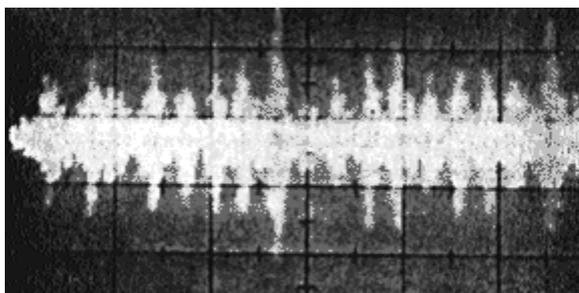


Рис.28. Сигнал подшипника, имеющего дефект на внутренней дорожке.

Методики измерения

На машинах, у которых измерения энергии импульсов ранее не проводились, необходимо отслеживать тенденцию ее изменения для оценки изменения состояния подшипника и определения критического значения энергии импульсов для данного типа подшипника. Определив опытным путем это значение, можно затем контролировать состояние подшипника путем измерения энергии импульсов.

При этом не рекомендуется останавливать машину, базируясь только на измерениях энергии импульсов. Для вынесения окончательного заключения необходимо также измерить по крайней мере еще один вибрационный параметр, такой как виброскорость или виброускорение. Это необходимо делать потому, что значения энергии импульсов существенным образом зависят от режима работы машины. Различные факторы, такие как потоки пара, турбулентность, высокое давление воздуха, кавитация также как и дефекты подшипника генерируют импульсные сигналы и оказывают влияние на изменение энергии импульсов.

Например, вы подозреваете, что внезапное увеличение значения энергии импульсов указывает на грозящий отказ подшипника. Но если последующие измерения виброскорости или виброускорения не указывают на значительное увеличение вибрации, следует считать, что увеличение уровня энергии импульсов связано с изменением условий работы машины (например, усилением кавитации), а не повреждением подшипника.

Выбор второго критерия, позволяющего судить о состоянии машины, зависит от ее назначения. Высокоскоростные машины более подвержены воздействию силам вибрации, для них более подходящим показателем состояния является виброускорение. Для низкоскоростных машин предпочтительнее в качестве дополнительного параметра использовать вибрсмещение. В табл.2 приведены данные, которые отражают зависимость изменения уровня вибрационных параметров от состояния машины. Как следует из табл.2 Заметьте, что показания по gSE являются ВЫСОКИМИ для четырех или пяти состояний машины, тогда как только два из этих состояний действительно оправдывают останов машины.

Таблица 2. Зависимость изменения уровня вибрационных параметров от состояния машины.

Состояние машины	Уровни вибрации			
	Виброперемещение	Виброскорость	Виброускорение	SE
Нормальное состояние	Норма	Норма	Норма	Норма
Наблюдение Дефекты подшипника Готова к работе	Норма	Норма	Норма	Высокий
Наблюдение Дефекты подшипника Готова к работе	Норма	Норма	Высокий	Высокий
Неполадки Анализ/Останов машины	Норма	Высокий	Высокий	Высокий
Неполадки Анализ/Останов машины	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий

Установка датчиков

Особенно важным является соответствие определенным требованиям для обеспечения точности и повторяемости измерений Энергии Пиков. В этом смысле особенно важным то, как устанавливается датчик. На рис.29 показаны различные способы установки.

Установка датчика с помощью крепежной шпильки (или крепление с помощью специального клея) является наиболее правильной и надежной. Основными преимуществами такой установки являются возможность правильно измерять вибрации низкого уровня и высокочастотные вибрации, т.к. при такой установке собственная (резонансная) частота самого датчика расположена выше измеряемого частотного диапазона. Однако, этот метод не годится для периодического контроля вибрации из-за длительности и трудоемкости в установке датчика.

Другой метод крепления - на специальный магнит более удобен для периодических проверок, но при его использовании происходят некоторые потери вибрационной энергии из-за того, что собственная частота датчика смещается в более низкочастотную область, тем самым отсекая часть высокочастотной энергии вибрации. Измеренные при этом уровни энергии импульсов будут меньше, измеренных в случае крепления датчика на шпильке. При повторяющихся измерениях следует обеспечивать установку датчика на магните в одних и тех же точках для повторяемости измерений.

Третий метод установки датчика с использованием ручного шупа дает наименьшее значение измеренной энергии импульсов по сравнению со всеми другими методами, т.к. частотный диапазон измерения еще более сужается. Дополнительное ослабление может внести также и ослабление самого шупа, поэтому перед каждым измерением следует проверять надежность его крепления к датчику. Как и в случае с магнитом, для повторяемости результатов при периодических измерениях датчик следует устанавливать в одни и те же точки. Преимуществом использования шупа является то, что можно проводить измерения в точках расположенных в непосредственной близости от подшипников и, которые недоступны при других способах крепления датчика.

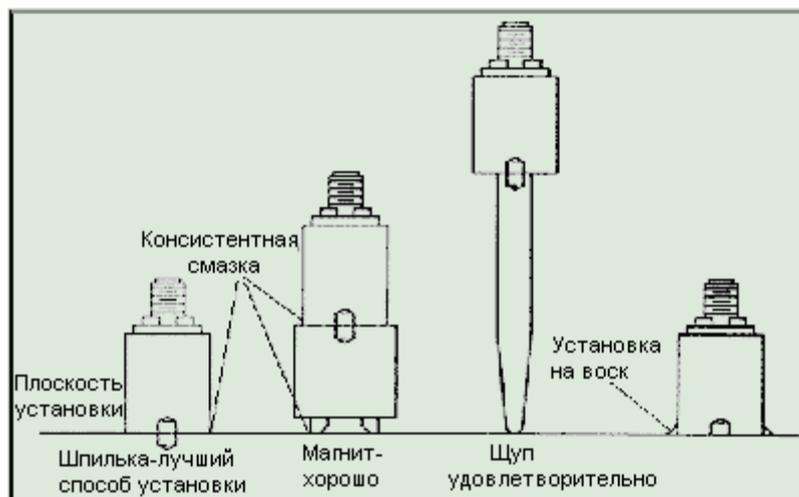


Рис. 29. Способы установки датчиков при измерении энергии импульсов.

Рекомендации по проведению измерений:

Следует сравнивать измеренные значения энергии импульсов в одной и той же точке, только при условии, что они снимались при одинаковых условиях работы машины и при одном и том же методе установки датчика. При периодических измерениях устанавливайте датчики точно в одни и те же точки. Лучше всего обведите место установки яркой краской.

Поверхность в точке крепления датчика должна быть чистой и доступной. Ее следует очистить от краски и смазки для обеспечения правильного измерения высокочастотной вибрации. Грязная поверхность создает эффект пружины, снижая резонансную частоту датчика и уменьшая высокочастотные сигналы энергии импульсов. При креплении датчика на шпильку, поверхность в месте его установки должна быть плоской, а ось датчика должна быть строго перпендикулярной к плоскости установки.

Используйте консистентную смазку, которую наносите тонким слоем между акселерометром и поверхностью. Она создает жесткий, несжимаемый слой между датчиком и поверхностью, который передает высокочастотные вибрации. При использовании магнита лучше использовать обычное машинное масло, нанесенное тонким слоем на поверхность, это также поможет улучшить передачу высокочастотной вибрации.

Установка критериев серьезности повреждения

Поскольку изменения уровня энергии импульсов могут вызываться целым рядом факторов, экспериментально получены некоторые обобщенные зависимости между этими измеренными значениями и степенью развития дефектов подшипников. Для оценки этих изменений в вибрации подшипников (и, следовательно, в его состоянии) следует использовать методы сравнения и отслеживания тенденции изменения уровня, а не полагаться только на измерение абсолютных значений вибропараметров.

На абсолютные значения можно ориентироваться, если уже накоплен определенный опыт обслуживания конкретных машин, а этот опыт приобретается, когда в процессе эксплуатации осуществляется сравнение и анализ тенденций изменений вибрации и состояния подшипника. На рис.30, 31 и 32 приведены критерии оценки состояния подшипников по значениям энергии импульсов. В этих критериях весь диапазон изменения значений энергии импульсов разбит на отдельные зоны, соответствующие различным состояниям подшипников. Предельные значения gSE для каждой зоны даны для различных частоты вращения машин. Эти критерии разработаны отдельными компаниями для своих машин с учетом как собственного опыта, так и с использованием другой информации. Этими критерии являются полезными при оценке состояния подшипников, но они могут не подойти для конкретного типа оборудования.

Создание критериев оценки состояния подшипников с использованием метода сравнения предполагает измерение энергии импульсов на одинаковых подшипниках ряда однотипных машин. Для хороших подшипников эти уровни обычно низкие и расположены в пределах ограниченного диапазона изменения уровня. Подшипники со значительно более высоким уровнем энергии импульсов следует отобрать для более тщательного анализа и определения критериев плохого их состояния. Такая методика позволяет быстро установить критерии, по которым можно различать исправные и неисправные подшипники.

Альтернативным методом сравнения является метод отслеживания тенденций изменения уровня энергии импульсов на отдельных машинах. Для этого уровень энергии импульсов какой-либо машины измеряется периодически через определенные интервалы времени. Если в течении длительного периода времени (например, 3-6 месяцев) значительных изменений уровня энергии импульсов не наблюдается, то состояние подшипника можно считать хорошим. Этот уровень и следует использовать в качестве критерия для хорошего состояния подшипников данной машины.

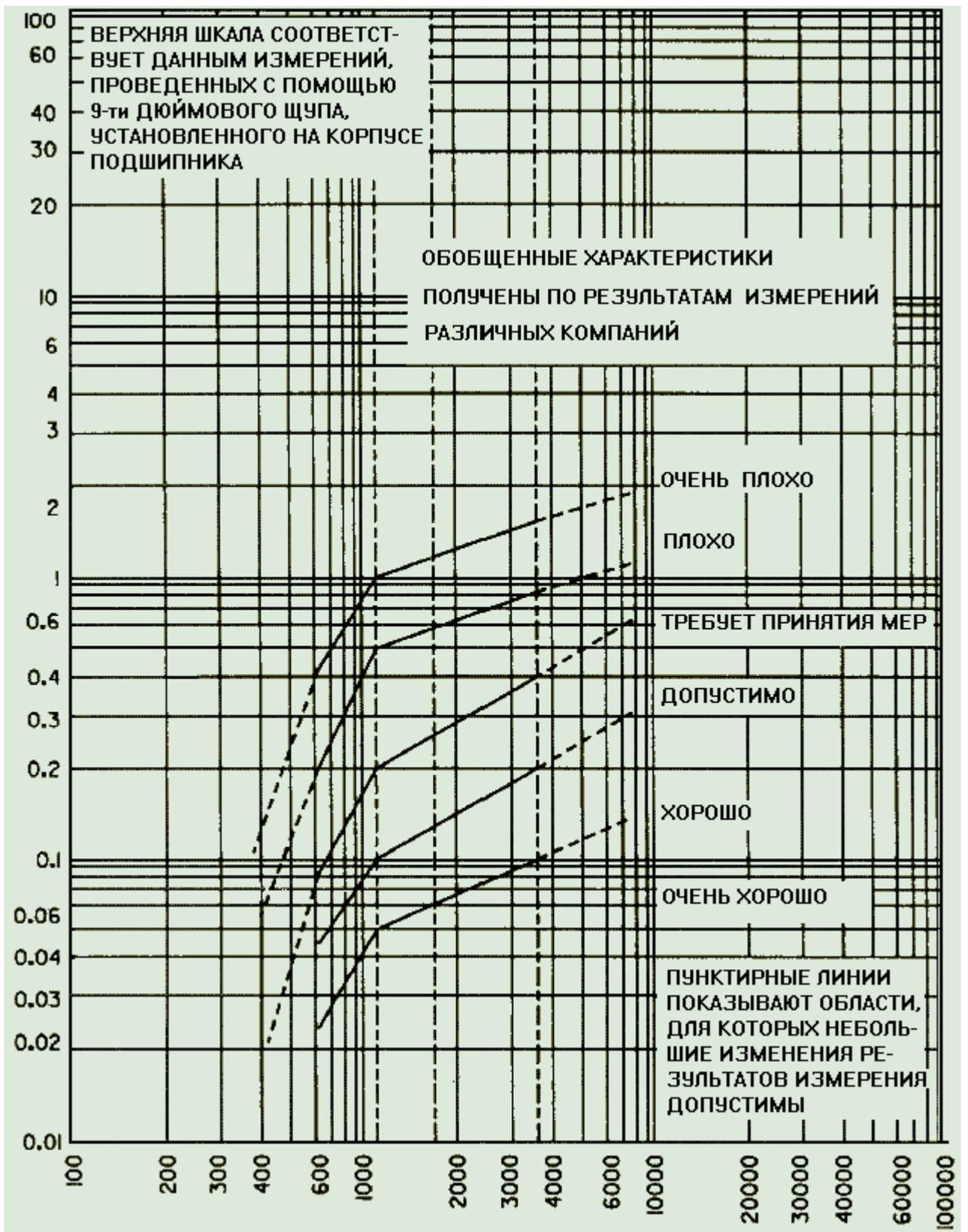


Рис. 30. Критерии оценки состояния подшипников с помощью энергии импульсов (gSE).

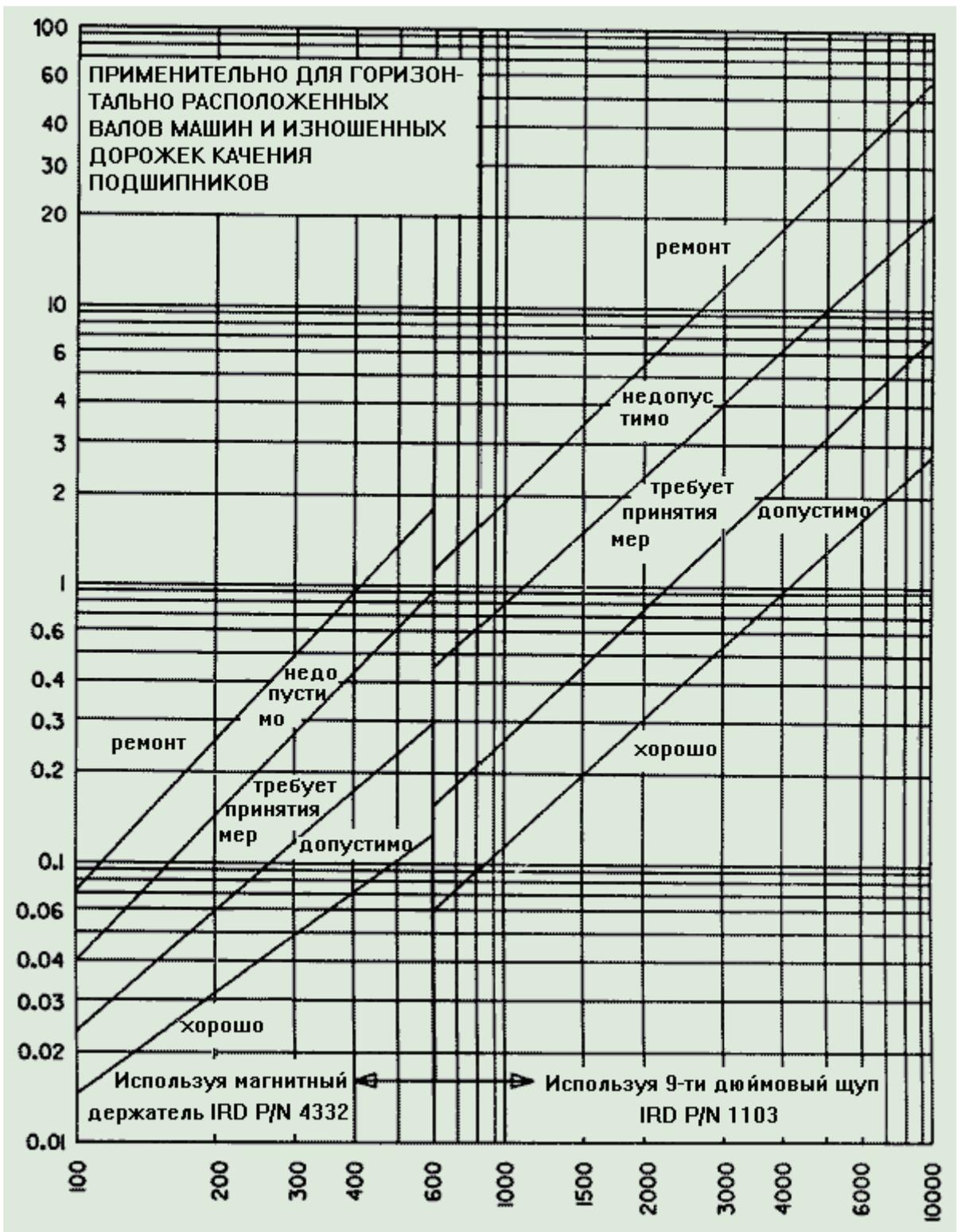


Рис. 31. Критерии оценки степени повреждения подшипников с помощью энергии импульсов (gSE).

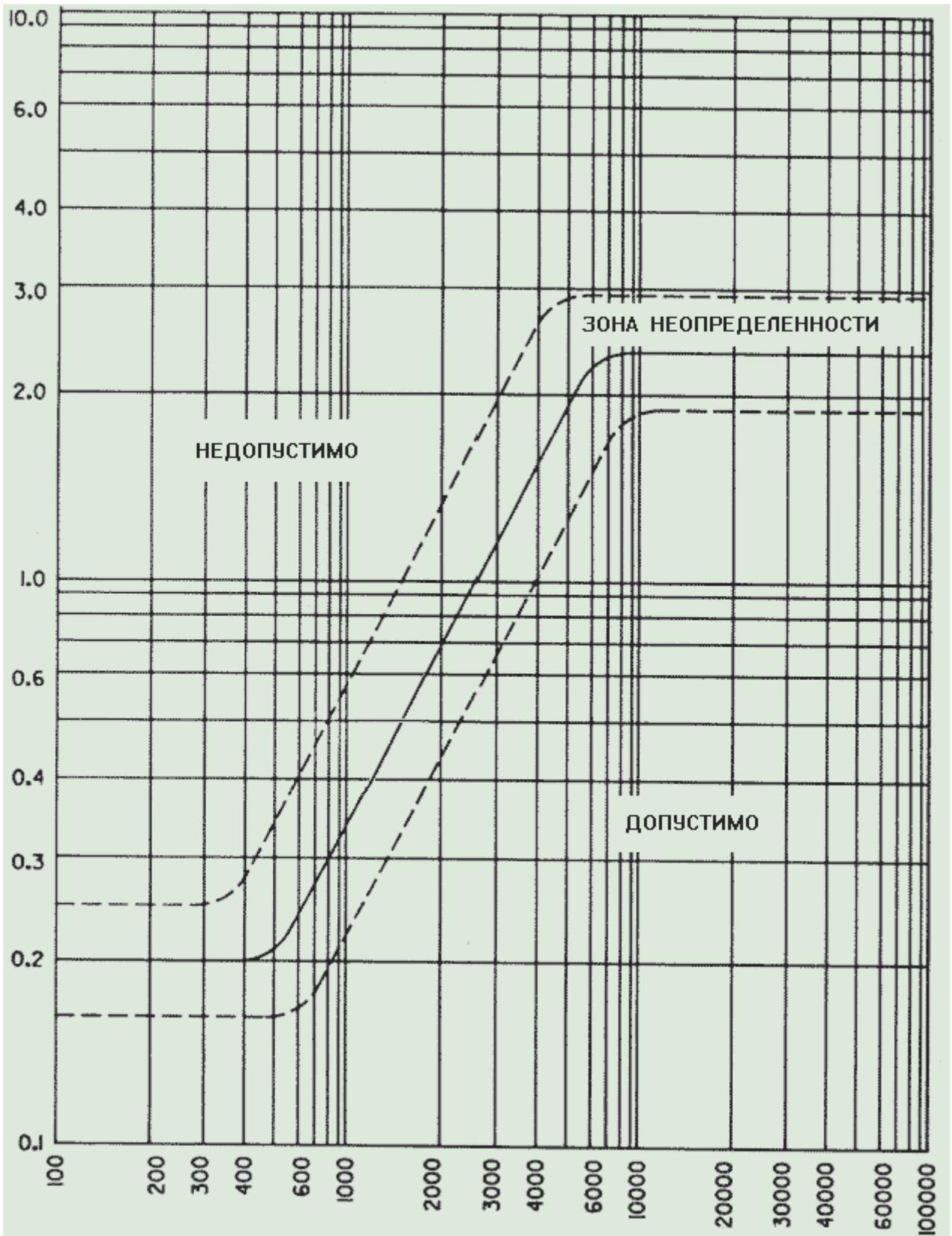


Рис. 32. Критерий отбраковки подшипников с помощью энергии импульсов (gSE).