

## Диагностика подшипников качения

Послан Сергей - 01.03.2013 13:06

---

Ассоциация ВАСТ много внимания уделяет вопросам диагностики железнодорожного подвижного состава. Как я понимаю, там основная проблема – диагностика подшипников качения ходовой части, в России их ресурс много меньше, чем в Европе. В чем же особенность диагностики на железной дороге, затрудняющая диагностику подшипников, ведь на сегодня есть много способов решения этой задачи? А почему не использовать несколько способов одновременно, если одним задачу не решить? И почему нет норм на вибрацию, и не проводится ее стандартный контроль до 1000Гц?

=====

## Re: Диагностика подшипников качения

Послан Юрий - 06.06.2014 16:37

---

Уважаемый Руслан,

В диагностике упорных подшипников букс есть свои особенности, на которые я в предыдущем сообщении сознательно внимание не акцентировал. Особенность не том, что подшипник не нагружен – нагрузка на него, хоть и небольшая, но есть всегда, так как он поджат пружиной. Поэтому и удары тел качения о кольца при наличии «выбоин» на поверхностях качения есть, просто возбуждаемая ими вибрация на высоких частотах доходит до вибродатчика на корпусе буксы с большими потерями.

Как следствие, признаки дефектов поверхностей качения становятся видимыми на фоне вибрации от опорных подшипников только при сильных дефектах упорного подшипника, и пороги на параметры этих дефектов должны быть существенно ниже, чем на параметры дефектов опорных подшипников. Но есть еще проблемы диагностики сепаратора и смазки упорных подшипников, их даже по росту сил трения обнаруживать крайне сложно. Поэтому обнаруживаются они опосредованно, по появлению неровностей на поверхностях качения в результате резкого старения смазки упорного подшипника (появление крупных частиц в смазке или даже усталостное выкрашивание поверхностей качения).

К сожалению, есть еще одна проблема диагностики упорных подшипников качения, связанная с тем, что производители таких подшипников не задумываются о том, что их будут диагностировать по вибрации и потому многие упорные подшипники выпускают с четным количеством тел качения. А это приводит к тому, что раковины на наружном и внутреннем кольцах возбуждают вибрацию строго на гармониках частоты вращения колесной пары. (Частоты перекачивания тел качения по внутреннему и внешнему кольцам совпадают с гармоникой вращения номер которой равен  $\frac{1}{2} * z$ , чаще всего это кратные седьмой гармоники). А растет вибрация на любой гармонике частоты вращения по разным причинам, чего практически не бывает, если число тел качения – нечетное. Тогда и признак дефекта упорного подшипника обнаруживается гораздо проще – это рост вибрации на drobных гармониках вращения.

Прочитать об этой и других проблемах диагностики подшипников качения в локомотивах можно в статьях, размещенных на нашем сайте в электронном журнале.

=====

**Re: Диагностика подшипников качения**

Послан Гарик - 30.03.2016 18:12

---

У нас на предприятии основные отказы оборудования приходятся на подшипники качения.

Мне поручили организовать их диагностику, для начала нескольких типов, чаще всего закупаемых на замену.

Посмотрел, на каком оборудовании их чаще всего меняют и понял, что от частоты вращения скорость замены не очень-то зависит. Часто меняют подшипники и со скоростью вращения 10 об/мин, и очень высокооборотные, на турбокомпрессорах, со скоростью вращения до 30000 об/мин

Дальше почитал ваш форум и понял, что возможности диагностики подшипников зависят от того, можно ли добраться до корпуса подшипникового узла для измерения вибрации.

К сожалению, наиболее плохие последствия отказа на нашем оборудовании – у тех подшипников, до которых не добраться

Пример – электродвигатель, у которого один из подшипниковых узлов закрыт кожухом вентилятора охлаждения. Есть отказывающие подшипники в сложных редукторах, до них тоже не добраться.

Дальше стал смотреть, какие приборы по диагностике подшипников предлагают производители. Оказывается – их больше сотни, от 50т.р. до нескольких миллионов. Все производители обещают решение вопросов любой сложности, а отзывы пользователей – диагностика получается лишь с некоторыми приборами и в частных случаях.

Еще одна особенность диагностики, которую я понял – многим приборам нужны данные подшипников, а у нас много техники без документации – купили на западе Б/У технику и информации о подшипниках многих зубчатых передач просто нет, даже посадочные размеры узнаем после разборки. Оценить можем в лучшем случае частоту вращения.

Ранее я реально сталкивался лишь с диагностикой подшипников по смазке, поэтому мне без помощи со стороны не определиться

Просьба поделиться опытом – каким путем идти, тем более, начальные средства на диагностику – минимальные, дальше будут лишь в случае успеха.

=====

**Re: Диагностика подшипников качения**

Послан Барков - 31.03.2016 10:17

---

Вам поставили слишком широкий круг задач, и для того, чтобы их решать, целесообразно начать

---

с обучения основам диагностики, причем не только подшипников, а основных узлов тех агрегатов, в которых они стоят. Можете приехать к нам, лучше всего на двухнедельные курсы повышения квалификации.

Но параллельно Вам надо начать осваивать выделенные средства, т.е. из всех объектов диагностики выбрать наиболее выигрышные и под них заказать средства диагностики. Именно в этом вопросе я постараюсь Вам помочь.

Сначала самое главное, в диагностике вы решаете не одну, а три задачи:

- выбор одного (или группы) признаков плохого состояния подшипника конкретного объекта и его измерение,
- определение эталона, с которым будете сравнивать результат измерения,
- оценка того, продержится ли подшипник с изменившимся состоянием некоторое, важное для Вас время (прогноз состояния).

Приборы, в большинстве своем, могут помочь решить, лишь частично, первую задачу. Для решения следующих нужны общие внешние программы мониторинга, накапливающие результаты измерений и специальные экспертные, а лучше автоматические программы (модули), создающие эталон и прогнозирующие отказ.

Посмотрим, в какой степени частично приборы решают первую задачу, остановившись лишь на виброизмерительных приборах. В вибродиагностике вибрацию (с учетом реально достижимого расстояния от диагностируемого узла до доступной точки ее измерения) обычно делят на следующие частотные диапазоны - низкочастотный, среднечастотный, высокочастотный и ультразвуковой. В каждом диапазоне для оценки состояния подшипника можно использовать три признака:

- рост средней мощности вибрации, знания характеристик подшипника не требуется
- рост мощности импульсной (ударной) вибрации, характеристик подшипника не надо,
- появление определенной, характерной для подшипников с известными параметрами, периодической зависимости отдельных компонент вибрации от времени

Для обнаружения первых двух признаков существуют достаточно простые приборы.

Для обнаружения третьей необходимы приборы, реализующие спектральный анализ вибрации (и/или ее огибающей) и знание характеристик подшипника.

И во всех случаях необходимо разделять признаки дефектов подшипников качения и дефектов других узлов контролируемого агрегата. Наиболее просто это делается при использовании для диагностики высокочастотной и ультразвуковой вибрации

измеряемой прямо на подшипнике – при дефекте подшипника преимущественно растет только его вибрация, а при дефекте других узлов (например, шестерни редуктора) – нескольких

подшипниковых узлов.

Итак – простые одноканальные приборы для обнаружения дефектов подшипников, а таких большинство, работают одинаково – по высокочастотной и/или ультразвуковой вибрации, измеряя параметры, характеризующие ее среднюю мощность и мощность (энергию) отдельных импульсов. Чаще всего эти параметры - СКЗ и пиковые значения, а также их отношение – пикфактор. Их стоимость, если она явно не завышена – до 100т.р.

В каких случаях их можно применять? В первую очередь в машинах с одной скоростью вращения и доступными для измерения подшипниками качения. В случае, когда измерениям мешает кожух, поступают двумя способами – высокочастотную вибрацию измеряют на головке крепящих кожух к подшипниковому узлу болтах, а если прибор контролирует только ультразвуковую вибрацию – используют постоянно установленный на подшипниковый узел длинный щуп, выходящий за поверхность кожуха.

Таких машин достаточно много, и покупают такие приборы достаточно часто, но берут их те пользователи, для которых контроль вибрации и вибродиагностика – побочная деятельность. Причина – невозможность определиться с тем, что будет завтра. Так, дефект на неподвижной части подшипника дает реакцию в сотни раз больше такого же дефекта на подвижной части, и последние очень часто пропускаются.

Как решить проблему слабой реакции прибора на дефекты подвижных узлов доступных для измерения высокочастотной вибрации подшипников? Есть два основных пути:

- дополнительно контролировать рост среднечастотной вибрации - там реакция на дефекты неподвижных узлов падает, а на дефекты вращающихся узлов растет, и для такого подхода мы выпускаем простой прибор – виброметр ВТ-21 (аналогов не встречал),

- дополнительно анализировать спектр колебаний мощности высокочастотной вибрации (спектр огибающей) для определения вида дефекта и использования разных порогов для дефектов неподвижных и вращающихся узлов – мы были первыми, кто такие приборы (серии СД) стал выпускать, сейчас у нас последователей – десятки.

Такие приборы дороже раза в три, но главное – к прибору дополнительно нужны, во-первых, программа с базой данных и измерениями по маршрутам, чтобы накапливать данные и определять индивидуальные пороги, а, во-вторых – специальные технологии разделения признаков дефектов подшипников и дефектов других узлов агрегата. У нас эти технологии реализованы в виде программ их автоматической диагностики по узкополосным спектрам вибрации и огибающей ее компонент на разных частотах, причем одновременно не по одному, а нескольким признакам каждого дефекта.

Вместе с программами автоматической диагностики такая система (прибор + программа) растет в цене еще раза в два, но с ней уже достоверность диагностики подшипников качения увеличивается многократно.

Теперь самый сложный вопрос – как диагностировать подшипники качения, до которых близко

не подобраться? Однозначного способа решения этой задачи нет, есть несколько разных приемов, как правило, требующих знания геометрии всех подшипников, диагностируемой машины и использования приборов, измеряющих узкополосный спектр вибрации с высоким разрешением по частоте

Так, эффективным приемом является анализ среднечастотной вибрации машины с выделением гармонических рядов подшипниковой вибрации, рассчитан на обнаружение ударной вибрации, появляющейся при дефектах поверхностей качения дефектных подшипников. Рассчитан он на то, что дефектным может быть преимущественно один из подшипников, и проявляется ударная среднечастотная вибрация тем сильнее, чем ближе к подшипниковому узлу измеряется вибрация. При этом часть дефектов подшипника, например износ сепаратора, не видна, и для их обнаружения специалисты применяют индивидуальные решения, обсуждение которых требует специальной подготовки и длительного времени.

Достаточно часто пользователи ставят датчики вибрации в недоступные подшипниковые узлы стационарно, но это дорого и не всегда возможно.

Иногда используются косвенные признаки дефектов подшипников, причем наиболее часто – при их диагностике в составе зубчатых передач, по одновременному росту зубцовых гармоник вибрации в двух зацеплениях, в которых участвует вал с дефектным подшипником качения, и т.д.

Все это уже следующий уровень сложности диагностики, сначала надо освоить два основных уровня (первый – доступных для измерения высокочастотной вибрации подшипников, второй – по спектрам среднечастотной вибрации). Так что рекомендовать могу приобрести полноценный прибор с возможностью измерения узкополосных спектров вибрации и огибающей ее компонент. Но обязательно с двумя программами – программой мониторинга с автоматическим построением порогов и программой автоматической обработки спектров, причем особое внимание обратите на программу автоматической обработки узкополосных автоспектров.

Пока будете осваивать – подойдут к завершению разработки экспертных программ распознавания состояний для вибродиагностики вращающегося оборудования – над ними сейчас работают некоторые производители, в том числе и наши специалисты, в рамках развития диагностики авиационных двигателей.

=====

**Re: Диагностика подшипников качения**

Послан Гарик - 31.03.2016 12:52

---

Спасибо!

Я подробно штудирую Ваш ответ и не все понимаю, а глупые вопросы задавать неудобно.

Подскажите, пожалуйста, где кроме википедии популярно и просто написано о вибродиагностике подшипников качения, и где можно найти развернутое описание проблем диагностики подшипников.

И еще. Нашел информацию о том, что подшипники качения диагностируют по току. Это реально?

Заранее благодарен

=====

## Re: Диагностика подшипников качения

Послан Барков - 31.03.2016 16:51

---

Игорь!

Сейчас каждый производитель приборов старается популярно писать о диагностике подшипников с помощью своего прибора, материалы о физических аспектах диагностики они берут друг у друга, и часто из-за отсутствия большого опыта не совсем правильно их излагают.

Так что лучше всего обратиться к первоисточникам. На сегодня есть всего четыре физических подхода к решению задачи диагностики дефектного подшипника, и каждый имеет и плюсы, и, конечно, минусы. Это:

1. Самый старый «народный» метод контроля величины вибрации в широкой полосе частот (неважно на каких частотах, обычно частоты снижаются по мере развития дефекта). Дефектный подшипник там, где вибрация больше. Развитие метода пошло по пути использования стетоскопа, звуковые частоты можно разделить на несколько полос при прослушивании и находить дефектный подшипник, оценивая и величину дефекта по тому, на каких частотах (высоких или низких) шум больше.
2. Также «народный» метод, автор так и не определен, - метод контроля за гармонической вибрацией на определенных подшипниковых частотах, работает с первой половины 20 века, с того момента, как научились выделять из вибрации определенные по частоте составляющие вибрации с помощью перестраиваемого резонатора. Такой резонатор ставили на вход стетоскопа. Развитием метода, хотя и не самым удачным, можно считать метод анализа кепстра вибрации, реагирующий на рост количества гармоник и нестабильность (модуляцию) выделяемых подшипниковых составляющих
3. Метод обнаружения ударов, у него есть автор – швед, получивший патент в 1968г. Сначала он также использовал резонатор (ультразвуковой, на 31,5кГц), затем последователи (фирма SPM) от резонатора отказались. Появился и стетоскоп с преобразованием ультразвуковой вибрации в звуковую огибающую.
4. Метод обнаружения нестабильности (модуляции) сил трения по случайной вибрации (метод огибающей), первыми на него авторское свидетельство получили мы (1976г) и развивали его сначала вместе с датчанами (фирма Брюль и Кьер), а затем самостоятельно, делая специализированные приборы и программы.

Все известные в мире последующие практические решения, получившие разные названия, не добавляли физики, а модернизировали обработку сигналов, но поскольку у каждого метода есть и недостатки, эффективными на практике оказались только те решения, которые использовали все методы одновременно (параллельно).

Где же взять первоисточники?

Когда-то мы писали много статей и проводили широкие обсуждения разных подходов к диагностике. И почти все выкладывали в интернет на старом сайте Vibrotek. На английской версии сайта, например, была наша (совместно с американским коллегой) статья 1994г, которая журналом Sound and Vibration признана лучшей работой в области вибрационной диагностики в прошлом столетии. Хотел дать Вам ссылку на этот сайт, а оказалось, что в новом сайте раздела литературы уже нет. Но Вы можете войти в старый сайт (Vibrotek/Russian/ru) и литература на русском Вам будет доступна.

Из книг самой ранней и очень интересной считаю книгу Павлова Б.В. Акустическая диагностика машин, изданную еще в 1971г. Наша книга вышла на 15 лет позднее.

Быстрое развитие техники диагностирования за последнее десятилетие, очевидно, вносит определенную неоднозначность в понимание методов диагностирования подшипников, и, наверное, пришло время новой систематизации этих методов, но уже с учетом резко усложнившихся технических средств диагностирования. Можно попытаться выполнить эту работу и на нашем сайте.

=====

## Re: Диагностика подшипников качения

Послан Гарик - 06.04.2016 12:19

---

Я честно стараюсь разобраться. Просьбу в кадры на обучение у вас подписал у начальства. Посмотрел Ваш прайслист - цены подороже, чем у фирм, которые смотрел раньше, а без тендера предприятие ничего не делает.

Есть интересная проблема. Когда я в Питере - в интернете Ваш сайт на первой странице, когда на площадке - в интернете вас надо долго искать.

Хочется знать, что у Вас есть для диагностике подшипников по току - пока Вы не ответили. А на сайте и в этом форуме есть вопросы, но, не впрямую по подшипникам, что - то про статические преобразователи. Если у вас диагностика по току есть - тендер реально выиграть, так как у других не нашел.

Где по току что-нибудь почитать, пока я ответа не получил и сам не нашел.

За помощь огромное спасибо.

=====