

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ**

Скойбеда А.Т., д.т.н., профессор;  
Путиловский В.А., аспирант  
*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
email: [mparts@bntu.by](mailto:mparts@bntu.by)*

## **ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS AND DIAGNOSING DEFECTS**

*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

**Аннотация.** Отказы в работе узлов и агрегатов машинного оборудования происходят из-за износа сопряжений, проявления усталости материала, нагрузжений, превосходящих пределы прочности, старения и ряда других факторов, сопровождающих эксплуатацию. Несвоевременное проведение профилактических мер, заключающихся в заблаговременной ликвидации предельных зазоров в сопряжениях, выполнении необходимых регулировок, регулярном контроле прочности крепления узлов и деталей, своевременной смене масла или его доливки, предупредительной замене деталей, выработавших свой ресурс, существенно снижает надежность функционирования узлов и агрегатов.

Вибрационная диагностика – метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, либо создаваемой работающим оборудованием, либо являющейся вторичной вибрацией, обусловленной структурой исследуемого объекта.

**Ключевые слова:** подшипники качения, вибромониторинг, диагностика дефектов, виброскорость, метод оценки, срок службы, факторы

### **PUTSILOUSKI VITALI**

## **ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING BEARINGS AND DEFECT DIAGNOSTICS**

**Annotation.** Failures in the operation of units and assemblies of machinery occur due to wear of couplings, manifestation of material fatigue, loads exceeding strength limits, aging and a number of other factors accompanying operation. Untimely implementation of preventive measures, consisting in the early elimination of extreme gaps in couplings, performing necessary adjustments, regularly monitoring the strength of fastening units and parts, timely oil change or

topping up, preventive replacement of parts that have exhausted their resource, significantly reduces the reliability of the functioning of units and assemblies.

Vibration diagnostics is a method of diagnosing technical systems and equipment based on the analysis of vibration parameters, either created by operating equipment or being secondary vibration caused by the structure of the object under study.

**Key words:** *rolling bearings, vibration monitoring, defect diagnostics, vibration velocity, evaluation method, service life, factor.*

Подшипники качения являются наиболее распространенными узлами механических систем, обеспечивающими точное расположение и взаимное перемещение отдельных деталей в широком диапазоне скоростей и нагрузок. Отказ подшипника нередко приводит к аварийным отказам сложных и ответственных изделий с большими экономическими потерями. В этой связи достижение требуемых эксплуатационных характеристик установленного в изделии подшипника является необходимым условием обеспечения качества машин и механизмов. В свою очередь срок службы подшипников качения зависит от условий их производства, хранения, обслуживания, установки, нагрузки и условий работы. В таблице 1 приведены некоторые типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие.

Таблица 1 – Типы неисправностей подшипников и причины их вызывающие

Причина	Эффект	Фото дефекта
Чрезмерная нагрузка	Поверхностное растрескивание Перегрев/ текучесть металла	 <p>Перегрев кольца подшипника</p>
Нагрузка от дисбаланса	Повреждение дорожек качения	 <p>Трещина кольца</p>

<p>Расцентровка</p>	<p>Натиры дорожек качения Поверхностное растрескивание Повреждение сепаратора</p>	 <p>Сколы сепаратора</p>
<p>Дефекты насадки подшипника на вал</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание материала подшипника</p>	 <p>Усталостное выкрашивание</p>
<p>Неправильная установка</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание Повреждение при сборке</p>	 <p>Трещина на дорожке качения</p>
<p>Неправильный зазор в подшипнике</p>	<p>Растрескивание и выкрашивание Абразивный износ Фреттинг-коррозия Повреждение при сборке Несоосность колец</p>	 <p><i>Фреттинг-коррозия посадочной поверхности внешнего кольца шарикоподшипника</i></p>

<p>Неподходящая или неправильная смазка</p>	<p>Усталостное выкрашивание Заклинивание Задиры поверхности дорожек качения Борозды на поверхности дорожек Перегрев</p>	 <p>Задиры на роликах двухрядного цилиндрического роликоподшипника</p>
<p>Плохое уплотнение (герметизация)</p>	<p>Абразивный износ Воздушная коррозия Задиры Борозды на поверхности дорожек</p>	 <p>Абразивный износ на беговой дорожке внешнего кольца радиально-упорного конического двухрядного роликоподшипника</p>
<p>Высокая вибрация конструкции, ударные нагрузки, неправильная установка и транспортирование</p>	<p>Бринелирование дорожек качения Псевдобринелирование</p>	 <p>Бринелирование</p>
<p>Электрический ток</p>	<p>Электроповреждения</p>	 <p>Электроповреждение внутреннего кольца конического роликоподшипника</p>

Техническое состояние подшипника определяется совместным влиянием большого числа факторов и параметров, характеризующих качество изготовления подшипника и сборки узла, свойства смазочного материала, степень износа, режимы и условия работы и т.п. При этом отдельные факторы могут усиливать или компенсировать степень влияния друг друга, что ограничивает эффективность традиционных подходов к диагностированию, заключающихся, в основном, в оценке лишь некоторых параметров подшипника вне учета их комбинаций и значений других параметров и влияющих факторов.

Методы диагностирования технического состояния подшипников качения можно условно классифицировать на две группы [1]. К первой группе относят методы, связанные с выявлением дискретных составляющих на основных для данного подшипника частотах либо на частотах, возникающих при появлении дефектов его элементов. При этом диагностируется местонахождение и тип повреждения. Ко второй группе относят методы, в основу которых положено предположение о том, что при выходе из строя подшипника происходит разрушение нескольких элементов в результате одновременного развития нескольких дефектов. Поэтому процесс разрушения приводит к изменению широкого ряда гармонических составляющих вибрации и диагностирование технического состояния подшипников качения связано не с выявлением отдельных дефектов, а с определением интегральной оценки деградационных процессов. Такой подход оправдан тем, что при появлении любого дефекта подшипник должен быть немедленно заменен.

В самом общем случае состояние подшипника качения, развитие его дефектов за весь период его службы можно разделить на пять этапов, представленных на рисунке 1, а описание этапов представлено в таблице 2.



Рисунок 1 – Этапы развития дефектов подшипников качения  
СКЗ – уровень СКЗ фона; ПИК – пиковые значения амплитуды во времени

Таблица 2 – Описание этапов развития дефектов подшипников качения

Наименование этапа	Характеристика этапа
до «1»	Общее техническое состояние подшипника считается идеальным. На этом, "нулевом" этапе развития дефектов пики вибрации превышают уровень фона незначительно, а сам "фон" вибрации (в данном случае СКЗ виброскорости) значительно меньше нормируемого значения.
от «1» до «2»	В подшипнике появляется и начинает развиваться какой - либо дефект, возникают ударные виброимпульсы, растущие по величине. Энергия импульсов затрачивается на "углубление" дефекта, в результате чего происходит еще большее увеличение энергии импульсов. Уровень фона вибрации по своей величине при этом остается неизменным, т. к. дефект носит локальный характер и на общем состоянии подшипника пока не сказывается. Это этап возникновения дефекта в процессе эксплуатации.
от «2» до «3»	Ударные импульсы в подшипнике достигают по своей энергии практически максимального значения. Количественное значение максимума энергии импульсов определяется типом подшипника и условиями его эксплуатации. Выделяющаяся в подшипнике энергия импульсов уже столь велика, что ее достаточно для расширения зоны локализации дефекта. На данной стадии остановить дальнейшее развитие дефекта практически невозможно, началось его саморазвитие. Величина пиков вибрации на временном вибросигнале уже практически не растет, но и уровень фона тоже меняется мало.
от «3» до «4»	Зона развития дефекта столь велика, что подшипник начинает "терять" свое основное назначение - обеспечивать вращение валов с минимальным трением. Возрастают затраты энергии на вращение ротора и, как результат, увеличивается энергия, выделяющаяся в подшипнике, растет уровень фона. Этап саморазрушения подшипника.
от «4» до «5»	Последний этап развития дефекта, когда он охватил весь подшипник, вернее говоря все то, что осталось от подшипника. Уровень фона вибрации практически сравнялся с уровнем пиков, вернее говоря вся вибрация состоит из пиков. Работы подшипников в этой зоне следует избегать.
«5»	Этап ожидания аварии.

Оценка технического состояния и поиск дефектов подшипников качения может производиться при четырех наиболее распространенным критериям, по следующим диагностическим параметрам:

1. По величине СКЗ виброскорости.

Метод традиционен и основан на измерении среднеквадратичного значения (СКЗ) уровня виброскорости с последующим сравнением полученных данных с нормируемым значением. Метод оценки качества подшипников по уровню виброскорости прост в реализации, и это является

его главным достоинством. Превышения норм вибрации в полосах частот достаточно точно соотносятся с некоторыми дефектами.

Однако данный метод имеет и ряд недостатков:

1) Нормы СКЗ виброскорости определены только для подшипников с внутренним диаметром 10-150мм. Подшипники, выходящие за пределы этого диапазона, не могут быть диагностированы с помощью оценки уровня виброскорости. Некоторые производители стенов входного контроля устанавливают собственные нормы вибрации для данных подшипников, но природу происхождения данных норм они не объясняют. Скорее всего, имеет место обычная экстраполяция данных за пределы диапазона 10-150 мм.

2) Нормы СКЗ виброскорости определены не для всех типов подшипников, что также делает невозможным их диагностирование.

3) Данный метод способен дать результат только на очень поздней стадии развития дефекта.

Для обнаружения дефектов на более ранней стадии их развития, выработки надежного диагноза и прогнозирования остаточного ресурса подшипников одного измерения уровня СКЗ виброскорости недостаточно и требуется применение более совершенных методов. Опыт внедрения и эксплуатации систем входного контроля подшипников показывает, что диагностика только по уровню СКЗ виброскорости достоверно распознает около 3/4 существующих дефектов.

## 2. Диагностика дефектов подшипников качения по спектрам вибрационных сигналов

Данный метод применяется на практике достаточно часто, хотя и не обладает высокой чувствительностью, но он позволяет выявлять, наряду с диагностикой подшипников, большое количество других дефектов вращающегося оборудования. Этот метод позволяет начинать диагностику дефектов подшипников примерно с середины второго этапа, когда энергия резонансных колебаний вырастет настолько, что будет заметна в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала.

## 3. Диагностика дефектов по соотношению пик / фон вибросигнала

Этот метод имеет много различных, примерно одинаковых по эффективности, практических модификаций. Некоторые из них это метод HFD (High Frequency Detection - метод обнаружения высокочастотного сигнала), метод SPM (Shock Pulse Measurement - метод измерения ударных импульсов), метод SE (Spike Energy - метод измерения энергии импульса), а

также еще несколько других, но менее известных методов. Лучшие разновидности данного метода позволяют выявлять дефекты подшипников качения на достаточно ранних стадиях, начиная примерно с конца первого этапа развития. Приборы, реализующие данный метод диагностики дефектов достаточно просты и дешевы.

#### 4. Диагностика дефектов подшипников качения по спектру огибающей вибрационного сигнала

Данный метод позволяет выявлять дефекты подшипников на самых ранних стадиях, начиная примерно с середины первого этапа. Теоретически данный метод диагностики дефектов подшипников качения может базироваться и на анализе акустических сигналов, и на анализе вибрационных сигналов. В первом случае метод называется SEE (Spectral Energy Emitted - анализ излучаемой спектральной энергии), и для своей работы использует специальный датчик акустического излучения. Чаще всего для такой диагностики используют акустические детекторы утечек различных модификаций, работающие в диапазоне частот до 100 кГц. В этом случае измерение акустических параметров производится дистанционно, с некоторого удаления от контролируемого подшипника. Если для измерения вибрационных сигналов используются «обычные контактные датчики вибрации», то применение этого метода не требует использования специального оборудования. Развитием данного метода много занимались российские диагносты, в настоящее время считается уже классическим методом для анализа вибросигналов с подшипников качения.

Причем, метод спектра огибающей, широко применяемый на практике, является достаточно информативным, обладает высокой чувствительностью и помехозащищенностью.

В результате анализа методов оценки технического состояния подшипников качения и диагностики дефектов можно сделать вывод, что постепенное изменение физико-механических свойств материала поверхности качения приводит к изменению геометрических размеров отдельных участков поверхности качения и качества тел вращения, а соответственно и к понижению срока эксплуатации и потере надежности узла и агрегата в целом. Основным способом повышения надежности машин и оборудования, находящихся в эксплуатации, является регулярное проведение диагностических обследований и упредительных ремонтов [2-4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Писаревский, В.М. Использование вибродиагностики для повышения надежности эксплуатации центробежных насосов / В.М. Писаревский, Л.И. Соколинский. – М., 1988.

2. Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. СПб: Изд. центр ГМТУ, 2000.

3. Барков А.В. Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибрации // Судостроение. — 1985, № 3, 21—23

4. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации. — СПб: Изд. центр СПбГМТУ. — 2004

УДК 621.746.2

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Клубович В.В.**, академик, д-р техн. наук, профессор  
*Белорусский национальный технический университет, Минск*  
*nil\_p@bntu.by*

**Дикун А.О.**, преподаватель-стажер кафедры  
«Машины и технологии литейного производства» БНТУ

**Хрущёв Е.В.**, старший преподаватель кафедры  
«Машиноведение и детали машин» БНТУ

## ULTRASONIC PROCESSING OF CRYSTALLIZING ALUMINUM ALLOYS

*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

**Аннотация:** Воздействие на легкие сплавы ультразвуковым излучением, так же, как и электромагнитными полями, является одним из наиболее эффективных и перспективных способов обработки расплавов. Данный метод позволяет обеспечить дегазацию, уменьшение среднего размера зерна в структуре сплава, повысить смачиваемость и деагломерацию частиц.

**Ключевые слова:** Алюминиевый сплав, ультразвуковые колебаний, волновод, балл зерна, кристаллизация, расплав

**Abstract:** Impact on light alloys with ultrasonic vibrations as well electromagnetic fields, is one of the most effective methods for processing melts. This method allows for degassing, reducing the average grain size in the alloy structure, increasing particles wet ability and deagglomeration.