электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

**# 05, май 2016**

**УДК 53.086**

# Исследование геометрических параметров подшипников качения в целях повышения надежности эксплуатации

***Крансуцкая А.А.**, студент*
*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,*
*Кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Научный руководитель: Тумакова Е.В., ассистент*
*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,*
*Кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*
*tumakova_ekaterina@bmstu.ru*

Надёжность и долговечность объектов машиностроения тесно связаны с обеспечением необходимой точности их изготовления. Типовые изделия массового производства, без которых не обходится большинство конструкций, – подшипники. Подшипники качения – наиболее распространённые элементы конструкции разнообразных станков, машин и приборов [1]. Основными составляющими подшипника являются тела качения (различной формы), сепаратор и корпусные кольца (внешнее и внутреннее). Разноразмерность тел качения в комплекте подшипника – причина повышенного износа и выхода из строя сепаратора и подшипника в целом. А от качества подшипников в значительной мере зависит коэффициент полезного действия, работоспособность и долговечность машины [2].

Актуальность темы обусловлена необходимостью обеспечения возможности оценки технического состояния механизмов и приборов в текущий момент для перспективы повышения долговечности их работы. Исследование направлено на изучение дорожек и тел качения новых и изношенных подшипников для получения дополнительной информации о состоянии этих поверхностей.

Результаты измерений различных параметров технических объектов являются основным источником информации об их реальном состоянии и процессе их функционирования, в связи с чем, очень существенным становится вопрос достоверности получаемых результатов. Разработка адекватного для конкретных видов измерений метрологического обеспечения является одной из важнейших задач. При этом основополагающим является создание необходимых средств измерений (СИ),

предназначенных для сбора, обработки и выдачи измерительной информации [3]. Уточняющая информация о состоянии поверхности дорожек и тел качения подшипников необходима для осуществления комплексного подхода исследования объектов машиностроения представленного на рисунке 1 [4].

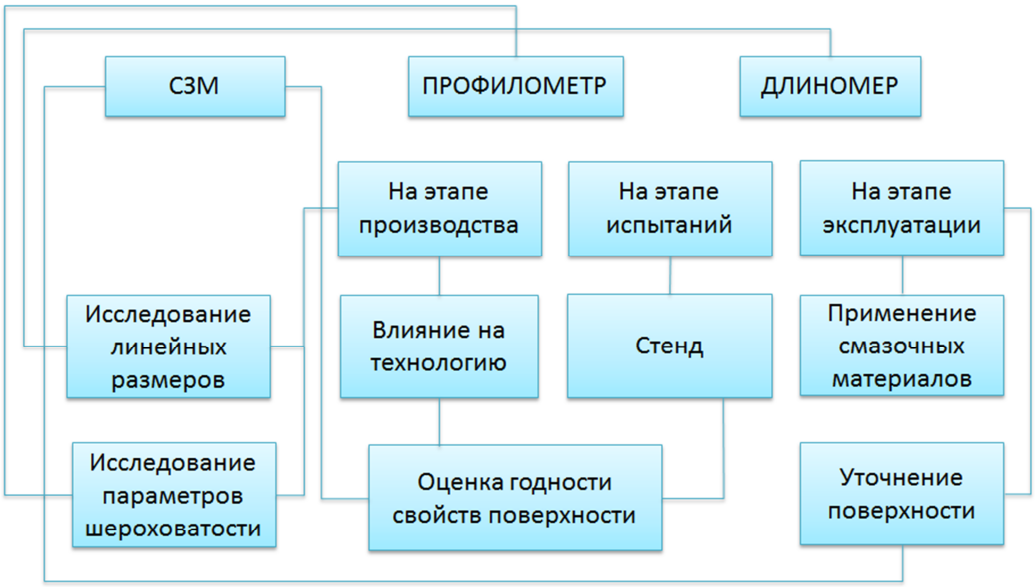



Рис. 1. Комплексный подход исследования объектов машиностроения от субмикронной точности до измерения размера

Данный подход отслеживает основную часть жизненного цикла подшипника от этапа производства до испытаний, а главное, на этапе эксплуатации. Подшипники качения в настоящее время являются неотъемлемой частью практически любого механизма. Во многих случаях этот узел относится к быстроизнашивающимся. В результате этого замена износившихся и разрушенных подшипников стала одной из основных операций в деятельности ремонтных служб предприятия. Эти особенности определяют важность вопроса нахождения соответствия между видами изнашивания и техническим состоянием подшипника качения с целью определения рациональных видов и параметров ремонтных воздействий для достижения максимальной длительности работы механизма. Характер развития износа подвижного соединения (рис. 2) [5, 6] включает три периода: приработки (I), установившегося (II) и катастрофического (III) изнашивания. Скорость изнашивания минимальна на этапе установившегося износа, имеет большие значение во время приработки и достигает максимального значения при катастрофическом износе.

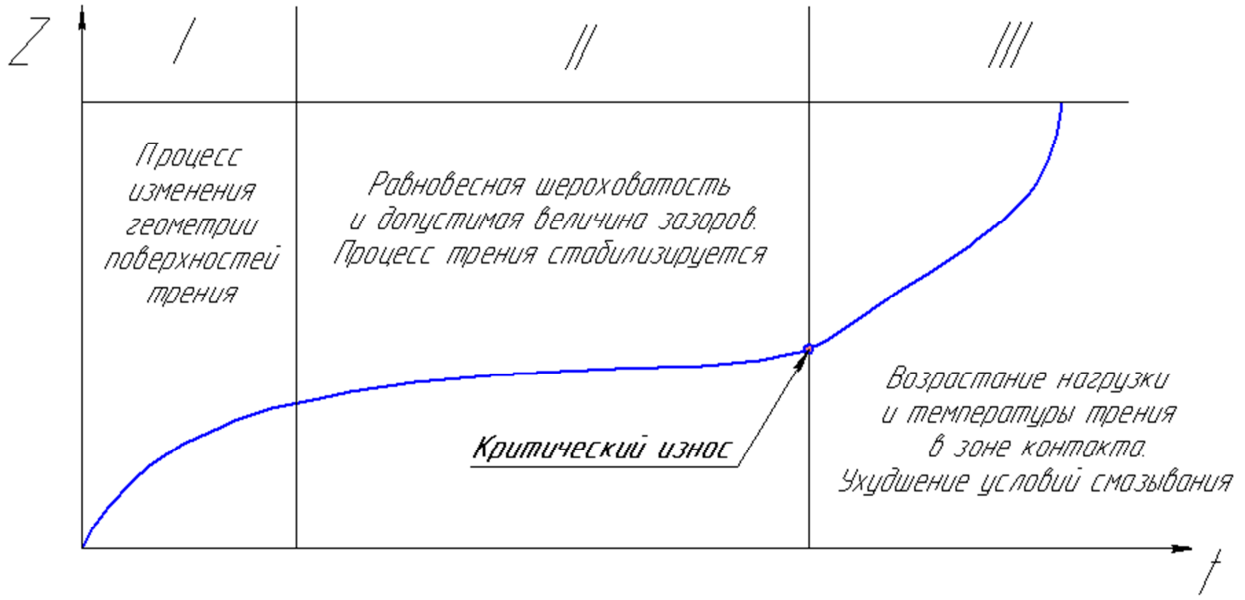



Рис. 2. Диаграмма интенсивности износа циклического механизма

Диаграмма износа, представленная на рисунке 2, отражает идеальный случай развития технического состояния подвижного соединения, который имеет место при следующих условиях трения: нагрузка постоянна по величине и направлению; в контакте находятся два тела; условия смазывания постоянны; частицы износа отводятся из зоны трения; ремонтных воздействий не совершают. Такие условия можно смоделировать только при лабораторных исследованиях. Последовательность смены периодов объясняется изменениями шероховатости контактирующих поверхностей. Во время приработки подвижное соединение стремится к наименьшему энергетическому состоянию, характеризуемому равновесной шероховатостью поверхности [7] и допустимыми величинами зазоров. Равновесная шероховатость контактирующих поверхностей и зазоры между ними изменяют значение прилагаемой нагрузки. При наступлении равновесной шероховатости процесс трения стабилизируется, и период приработки сменяется периодом установившегося изнашивания. Переход от установившегося изнашивания к катастрофическому происходит по причине резко возрастающих нагрузок в зоне контакта и температуры трения. Причиной резкого повышения этих величин является ухудшение условий смазывания по достижении подвижным соединением критических величин износа. В условиях производства достичь идеальных условий трения невозможно по ряду причин: применяемые детали имеют сложные конструкции, состоящие из двух либо трех элементов, одновременно находящихся в контакте; наличие абразива и частиц износа в зоне контакта; совершаются ремонтные воздействия на протяжении жизненного цикла детали [6]. Поэтому, необходим

комплексный подход, обеспечивающий возможность оценки технического состояния изделия в текущий момент времени, позволяющий осуществить переход от планового ремонта к ремонту «по текущему техническому состоянию», который является наиболее перспективным и экономически выгодным.

**Исследование топографии рабочих поверхностей трения подшипников**

Исследование топографии рабочих поверхностей трения подшипников, в частности, дорожки качения и тел качения, заключающееся в оценке внешнего вида поверхности, проведено на поляризационном микроскопе МПД - 1 с использованием камеры DCM310 и сопутствующего программного обеспечения ScopePhoto. Объект исследования – подшипник шариковый радиальный однорядный 1000096. Результаты исследования приведены на рисунке 3 и 4.

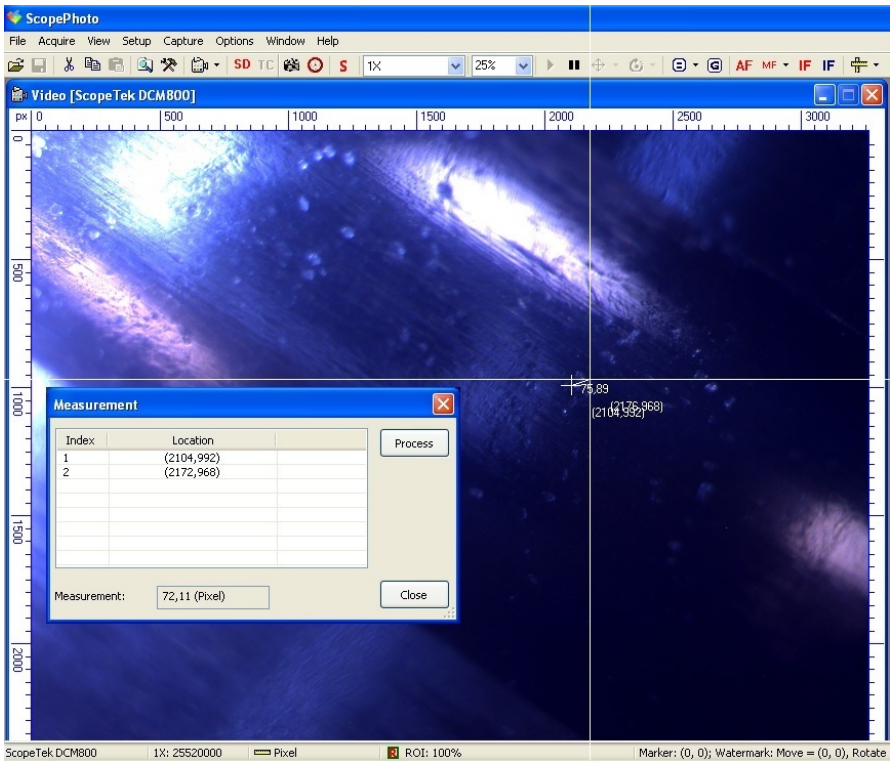



Рис. 3. Изображение поверхности дорожки качения внутреннего кольца подшипника с явно выраженной начинающейся питтинговой коррозией

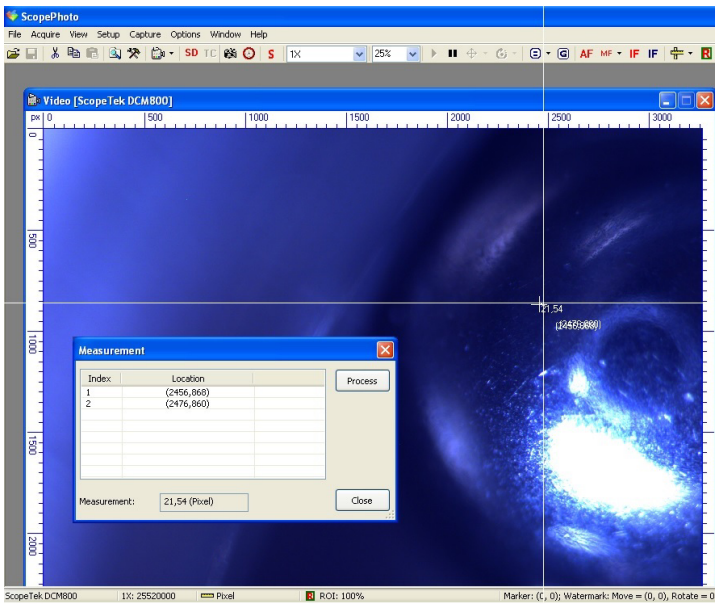



Рис. 4. Изображение поверхности шарика подшипника с явно выраженной начинающейся питтинговой коррозией

Предварительно, для возможности оценки размеров, видимых дефектов, было проведено тарирование размера пикселя с использованием плоскопараллельных концевых мер длины. Для этого использовалась концевая мера 2 мм. Зная размер используемой меры, и, замерив эту величину с помощью камеры, можно поставить в соответствие число пикселей и миллиметров. Результаты тарирования изображения представлены на рисунке 5 и в таблице 1.

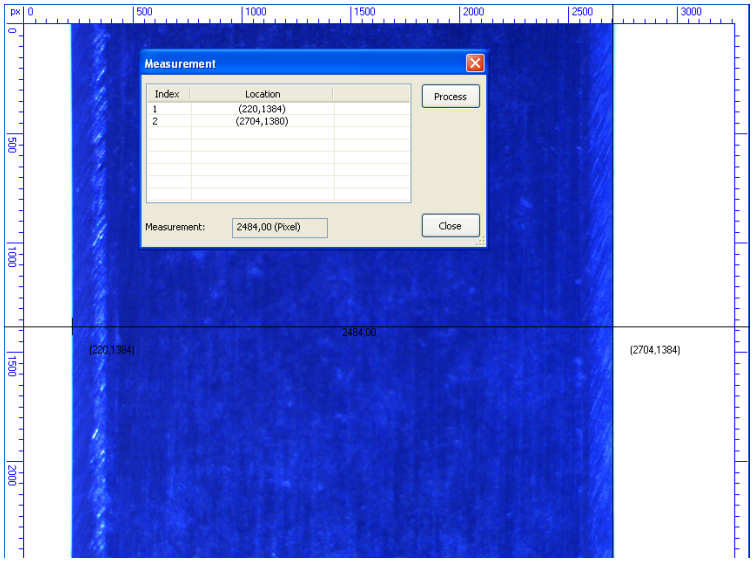



Рис. 5. Тарирование изображения камеры

*Таблица 1*

Тарировка изображения с камеры

| № п\п | Пиксели | Миллиметры |
|---|---|---|
| 1 | 2480,00 | 1,997 |
| 2 | 2484,00 | 2,000 |
| 3 | 2484,00 | 2,000 |
| 4 | 2468,00 | 1,987 |
| 5 | 2464,00 | 1,984 |
| 6 | 2464,00 | 1,984 |
| 7 | 2488,00 | 2,003 |
| 8 | 2488,00 | 2,003 |
| 9 | 2488,00 | 2,003 |
| 10 | 2484,00 | 2,000 |
| Среднее арифметическое | 2484,00 | 1,996 |

2 мм ≡ 2484 pixel

1 pixel ≡ 2/2484=0,000805 мм = 0,8 мкм

Погрешность расчёта $\Delta = 2 - 1{,}996 = 0{,}004$ мм

В ходе исследования выявлено наличие на дорожке и телах качения подшипника явно выраженной начинающейся питтинговой коррозии. С помощью тарирования можно будет произвести количественную оценку величины дефектов.

**Исследование разноразмерности по диаметру тел качения подшипника**

Неравномерность износа тел качения подшипника является одной из основных причин сокращения ресурса работы подшипника, следовательно, и механизма в целом. Согласно технологии изготовления шариков для подшипников, перед селективной сборкой их подвергают 100% контролю, и разноразмерность не должна превышать 10 мкм [8]. Исследование проведено на измерительном проекторе МР 320 с целью анализа разброса диаметральных размеров тел качения изношенного подшипника 1000096. Результаты исследования приведены на рисунке 6 и в таблице 2.

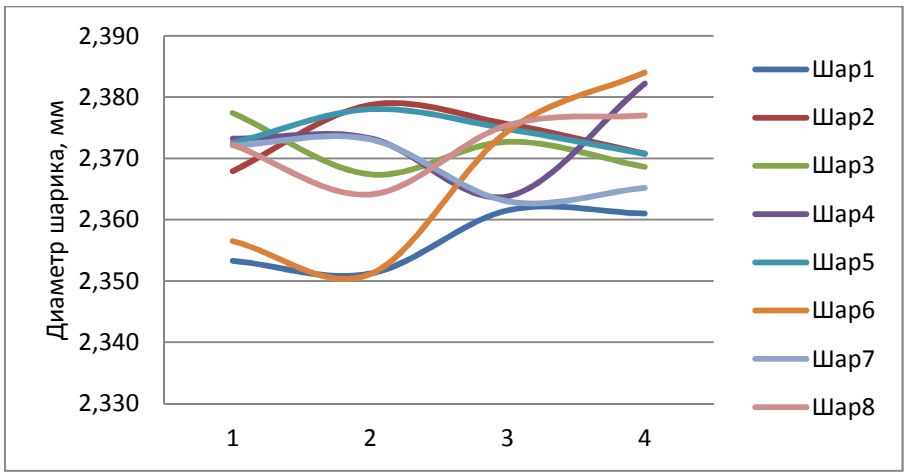



Рис. 6. Разброс диаметров шариков объекта исследования

*Таблица 2*

Результаты исследования разноразмерности шариков подшипника, мм

| № измерения / № шарика | 1 | 2 | 3 | 4 | $D_w$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,353 | 2,351 | 2,362 | 2,361 | 2,357 |
| 2 | 2,368 | 2,379 | 2,376 | 2,371 | 2,373 |
| 3 | 2,377 | 2,367 | 2,373 | 2,369 | 2,372 |
| 4 | 2,373 | 2,373 | 2,364 | 2,382 | 2,373 |
| 5 | 2,373 | 2,378 | 2,375 | 2,371 | 2,374 |
| 6 | 2,357 | 2,351 | 2,374 | 2,384 | 2,367 |
| 7 | 2,372 | 2,373 | 2,363 | 2,365 | 2,368 |
| 8 | 2,372 | 2,364 | 2,375 | 2,377 | 2,372 |
| $D'_w = 2{,}381$ | | | | | 2,369 |

В результате исследования было получено, что диаметральные размеры тел качения изношенного подшипника разные, а разноразмерность по диаметру шариков составляет 17 мкм. Каждый шарик работает по своей сложной траектории движения в процессе эксплуатации, вследствие чего и возникает неравномерность износа.

**Заключение**

1. В результате исследования тел качения изношенного подшипника разноразмерность по диаметру шариков превышает допустимые 10 мкм и составляет 17 мкм. Диаметральные размеры тел качения, несмотря на селективную сборку и 100%

контроль, разные, т.к. каждый шарик работает по своей сложной траектории движения в процессе эксплуатации, что и приводит к неравномерности износа.

2. Форма поверхностей шариков существенно отличается друг от друга, что оказывает влияние на функционирование подшипника.
3. В ходе работы был проведён сравнительный анализ топографии поверхности дорожки и тел качения подшипника. Результат этого анализа содержит в себе дополнительную информацию, которая может быть использована в качестве уточняющих данных для математической модели, описывающей функционирование, с учётом влияния поверхностных дефектов составных элементов подшипника.
4. Таким образом, геометрические параметры подшипника оказывают влияние на его функционирование, а их исследование способствует повышению надёжности эксплуатации.

Работа поддержана в рамках НИР по выполнению проектной части государственного задания в сфере научной деятельности. Задание №9.1265.2014/К.

## Список литературы

**[1]** Юркевич В., Лушников П. Диагностика подшипников качения // Станкоинструмент. 2015. № 1. С.97-99.

**[2]** Что такое подшипники и их основные разновидности. Режим доступа: http://www.prompk.ru/ntn-snr/e/about_bearings/about_bearing.htm (дата обращения 20.06.2015).

**[3]** Киселёв М.И., Пронякин В.И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. № 9. С.15 – 18.

**[4]** Крансуцкая А.А., Тумакова Е.В. Применение методов зондовой микроскопии для исследования объектов машиностроения // Восьмая Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России»: труды. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. С. 122-124.

**[5]** Гребеник В.М., Гордиенко А.В., Цапко В.К. Повышение надёжности металлургического оборудования: Справочник. М.: Металлургия, 1988. 688 с.

**[6]** Сидоров В.А., Ченцов Н.А., Проскуряков С.В. Техническое состояние подшипников качения и виды изнашивания // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. пр., 2003. Вип. 7. С. 28-32

**[7]** Крагелъский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.

**[8]** ГОСТ 3722-2014. Подшипники качения. Шарики стальные. Технические условия. Введ. 2016-01-01. М.: Стандартинформ, 2015. 18 с.