

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02**

**Повестка дня**

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Родионовой Ольгой Владимировной  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**«ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ОПЕРАЦИИ ШЛИФОВАНИЯ НА ЖЕСТКИХ ОПОРАХ  
КОЛЕЦ ПРИБОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ  
НА ОСНОВЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЯ  
МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ»**

Специальность:

**05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-  
технической обработки**

**Официальные оппоненты:**

**Полянчиков Юрий Николаевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

**Зверовщиков Владимир Зиновьевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

**Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)**

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02**  
**от 9 ноября 2017 года**

На заседании присутствовали члены Совета:

1. Табаков В.П.	д.т.н., профессор	05.02.07-технические науки
2. Веткасов Н.И.	д.т.н., доцент	05.02.07-технические науки
3. Бобровский Н.М.	д.т.н., профессор	05.02.08-технические науки
4. Булыжев Е.М.	д.т.н., доцент	05.02.08-технические науки
5. Горшков Б.М.	д.т.н., доцент	05.02.07-технические науки
6. Денисенко А.Ф.	д.т.н., профессор	05.02.07-технические науки
7. Драчев О.И.	д.т.н., профессор	05.02.07-технические науки
8. Захаров О.В.	д.т.н., доцент	05.02.07-технические науки
9. Кирилин Ю.В.	д.т.н., доцент	05.02.07-технические науки
10. Киселев Е.С.	д.т.н., профессор	05.02.08-технические науки
11. Клячкин В.Н.	д.т.н., профессор	05.02.07-технические науки
12. Ковальногов В.Н.	д.т.н.	05.02.07-технические науки
113. Носов Н.В.	д.т.н., профессор	05.02.08-технические науки
14. Салов П.М.	д.т.н., профессор	05.02.08-технические науки
15. Унянин А.Н.	д.т.н., доцент	05.02.07-технические науки

Председатель Совета  
д.т.н., профессор

Ученый секретарь Совета  
д.т.н., доцент



В. П. Табаков

Н. И. Веткасов

Председатель заседания, д.т.н., профессор, Табаков В.П.

На повестке дня второго заседания защита диссертации Родионовой Ольги Владимировны на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Повышение производительности операции шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения», специальность 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

На нашем заседании совета из 20 членов присутствует 15 человек. Необходимый кворум мы с Вами имеем. Повестку дня я сказал. Если нет замечаний, утверждаем.

По специальности защищаемой диссертации 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» на заседании присутствует 9 докторов наук. Заседание правомочно.

Объявляется защита диссертации Родионовой Ольги Владимировны по теме «Повышение производительности операции шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения».

Работа выполнена в Самарском государственном техническом университете.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Носов Николай Васильевич.

**Официальные оппоненты:**

Полянчиков Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета. По причине болезни приехать не смог (письмо и копия больничного листа прилагаются).

Зверовщиков Владимир Зиновьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного университета, присутствует.

Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

**Ведущей организацией** является Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, от которого получен соответствующий отзыв.

Слово предоставляется **ученому секретарю совета Николаю Ивановичу Веткасову** для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь, д.т.н., доцент, Н.И. Веткасов

Уважаемые коллеги, в деле соискателя имеются следующие документы, представленные к защите: личная карточка, из которой следует, что Родионова Ольга Владимировна, 1988 года рождения, закончила Самарский государственный технический университет по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» в 2012 году,

и окончила аспирантуру в 2016 году по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» при Самарском государственном техническом университете. В настоящее время работает инженером-конструктором ЗАО «Завод аэродромного оборудования». Имеется выписка из расширенного заседания кафедры «Технология машиностроения». На этом заседании было принято заключение, в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, степень научных ценностей, и как итог дается рекомендация о том, что бы данная работа была представлена к защите по специальности 05.02.07. Имеются нотариально заверенные копии диплома об окончании Самарского государственного технического университета, удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов со следующими оценками: английский язык – хорошо, история философии науки – хорошо, специальная дисциплина «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» – отлично. Имеется список научных публикаций Родионовой Ольги Владимировны, который включает в себя 14 наименований, из них 3 научные публикации в журналах из перечня рекомендуемых ВАК. Имеется заявление, которое было представлено при подаче документов в диссертационный совет, протокол заседания о приеме диссертации к предварительному рассмотрению, заключение экспертной комиссии в составе докторов технических наук Е.М. Булыжева, Ю.В. Кирилина и В.Н. Ковальногова о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете и соответствии требованиям ВАК материалов, изложенных в диссертации, автореферате и соответствии данной специальности. Имеются отзыв научного руководителя, протокол заседания диссертационного совета о приеме диссертации к защите, список рассылки авторефератов, включающий в себя 61 адрес, в которые был направлен документ. Содержит также сведения о ведущей организации, отзыв ведущей организации, сведения об официальных оппонентах и их отзывы. Кроме того представлены отзывы, пришедшие на автореферат. Все необходимые документы были вовремя опубликованы на сайте и в Интернете и соответствуют требованиям процедуры рассмотрения диссертаций.

#### Председатель

Так, имеются ли вопросы по личному делу к Николаю Ивановичу? (нет). К Ольге Владимировне? (нет). Ольга Владимировна, Вам предоставляется слово для доклада.

#### Соискатель

Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета, уважаемый оппонент!

Я хочу представить Вашему вниманию диссертационную работу на тему: «Повышение производительности операции шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения».

При изготовлении деталей подшипников основная трудоемкость приходится на операции шлифования. Для обеспечения требуемого качества деталей приборных подшипников применяется метод бесцентрового шлифования.

При бесцентровом шлифовании кольцо подшипника опирается на две жесткие опоры, расположенные под определенным углом, допустим  $\alpha$ . Кольцо подшипника прижимается к планшайбе 5 (слайд 2) электромагнитными силами плотностью 400 – 700 МПа. При этом центр вращения кольца относительно оси планшайбы смещен на величину эксцентриситета  $e$ . Процесс обработки осуществляется при постоянной подаче СОЖ в зону шлифования.

Вопросами бесцентрового шлифования на жестких опорах занимались такие авторы, как Кузнецов И.П., Филькин В.П., И.Б. Колтунов, Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров.

Рассмотрим подробнее теоретический анализ процесса бесцентрового шлифования колец подшипников на жестких опорах, предложенный данными авторами.

В своих работах И.П. Кузнецов рассчитывал равнодействующую сил трения и на основе проведенных расчетов давал практические рекомендации по положению жестких опор и величине углов.

В.П. Филькин и И.Б. Колтунов в своих работах основное внимание уделяли обеспечению стабильного положения кольца подшипника относительно рабочей поверхности шлифовального круга (ШК). Они предложили расчет коэффициента формообразования, и на основе проведенных расчетов они также давали рекомендации по настройке положения жестких опор.

Вопросами бесцентрового шлифования колец подшипников на неподвижных опорах занимались Б.М. Бржозовский и О.В. Захаров. Они предложили схему действия сил при бесцентровом шлифовании кольца подшипника на жестких опорах. На основе проведенных расчетов и экспериментальных исследований авторы получили следующие выводы:

1. Оптимальная наладка угла между жесткими опорами составляет 80 – 110°. При этом погрешность базирования будет иметь минимальное значение;

2. Нерациональной наладкой жестких опор следует считать трехгранную и овальную форму траектории вращения центра кольца;

3. При угле  $\lambda$  (это угол действия силы прижима  $Q$ ), изменяющегося в пределах  $\pm 45^\circ$ , сила  $Q$  обеспечивает стабильный прижим кольца к опорам.

В процессе теоретического анализа особенностей бесцентрового шлифования колец подшипников на жестких опорах установлено, что производительность процесса, а также точность и качество обработки поверхностей колец подшипников зависят от силовых и тепловых деформаций, а также от условий шлифования.

Метод бесцентрового шлифования на жестких опорах колец подшипников широко применяется на предприятии ООО «Завод приборных подшипников» г. Самары. На слайде 4 представлен маршрут обработки, приме-

няемый на предприятии, дорожек качения внутренних колец приборных подшипников.

Наиболее подробно рассматривали операцию 450 – профильное шлифование дорожки качения, состоящую из трех переходов: черновое шлифование, чистовое шлифование и выхаживание.

На слайде 5 представлен чертеж внутреннего кольца подшипника с геометрическими размерами и допусками. Его наружный диаметр составляет всего 4,2 мм. Материал кольца: сталь ШХ15, твердостью HRC 62-65. Станок, на котором ведется обработка, Брайант М-1; инструмент – шлифовальный круг. СОЖ, применяемая на данной операции – масляная СОЖ, ее состав: масло индустриальное ИС – 12 – 97% и 3% – олеиновая кислота. Режимы шлифования также представлены на данном слайде (слайд 5).

Техническими условиями предусмотрены следующие параметры поверхности дорожек качения: шероховатость поверхности  $Ra = 0,16$  мкм, отклонение от круглости профиля дорожки качения – не более 0,8 мкм, отклонение формы поперечного профиля дорожки качения – не более 2 мкм.

На основании анализа особенностей процесса бесцентрового шлифования колец подшипников на жестких опорах была выявлена актуальная технологическая проблема: повышение производительности операции шлифования колец подшипников на жестких опорах и обеспечение требуемых микрогеометрических параметров дорожек качения.

Таким образом, целью настоящей работы является повышение производительности бездефектного шлифования, обеспечивающего требуемые параметры точности и качества поверхности дорожек качения внутренних колец приборных подшипников.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены задачи, которые представлены на слайдах 7 и 8.

Основные положения, составляющие научную новизну работы, представлены на слайде 9.

Предложена теоретическая модель формирования геометрических параметров дорожек качения при шлифовании внутренних колец подшипников.

На слайде 10 представлены расчетная и конечно-элементная модели, полученные в программе ANSYS.

Расчетная модель, применяемая для проведения статического анализа кольца подшипника, разработана на основе схемы действия сил при шлифовании на неподвижных опорах, предложенной Захаровым О.В.

Исходные данные для моделирования: материал внутреннего кольца подшипника, его геометрические параметры, угол между жесткими опорами составил  $105^\circ$ , угол положения регулируемой опоры  $\alpha$  изменялся от  $5^\circ$  до  $20^\circ$ . Данный диапазон был выбран, так как при угле  $\alpha$  менее  $5^\circ$  - образуются условия вырыва кольца с жестких опор силами резания, при угле  $\alpha$  более  $20^\circ$  кольцо занимает неустойчивое положение и может быть вырвано с опор силой прижатия  $F$ .

При моделировании был произведен расчет сил резания при шлифовании. Формулы, использованные при расчете сил резания, представлены на слайде 11. По проведенным расчетам была получена зависимость величины силы резания от врезной подачи, которая представлена на графике. Данные силы в виде нагрузки задавались в модели.

Результаты теоретических исследований в программе ANSYS представлены на следующих графиках (слайды 12, 13). Установлено, что наибольшее влияние на деформацию кольца при шлифовании на жестких опорах оказывает черновая врезная подача, деформации от которой являются доминирующими.

Аналогичные результаты по формированию упругих напряжений в кольце при шлифовании на жестких опорах получены при изменении величины врезной подачи и угла положения регулируемой опоры  $\alpha$ .

Предложен процесс формирования отклонения от круглости дорожки качения внутреннего кольца подшипника при шлифовании на жестких опорах. Заготовка кольца устанавливается на жесткие опоры, расположенные под углами  $\beta$  и  $\alpha$ , при этом внутренняя и наружная поверхности кольца имеют цилиндрические формы. В начальный момент обработки силы резания упруго деформируют кольцо, которое приобретает сложную форму. В процессе шлифования, когда абразивный круг снимает припуск, наружная поверхность кольца становится цилиндрической, а внутренняя поверхность все еще находится в упругом состоянии. После окончания шлифования и снятия нагрузки внутренняя поверхность кольца становится цилиндрической, а наружная поверхность приобретает сложную форму, которая влияет на отклонение от круглости.

На основе проведенного теоретического исследования, было установлено, что:

- в процессе шлифования возникают упругие напряжения, которые приводят к деформации поверхности кольца и формированию профиля дорожки качения после обработки.

- установлено, что с увеличением врезной подачи величина деформации внутреннего кольца приборного подшипника повышается, а с уменьшением величины угла  $\alpha$  снижается.

- расчеты показывают, что при шлифовании дорожки качения внутреннего кольца приборного подшипника регулируемая опора должна располагаться под углом  $\alpha = 5 - 10^\circ$  от горизонтальной оси кольца.

Предложена методика экспериментальных исследований, которая включала несколько разделов:

- методика оценки микрогеометрии и дефектов поверхности дорожек качения;

- методика исследования качества очистки СОЖ;

- методика исследования геометрических параметров дорожек качения колец подшипников.

Микрогеометрия и дефекты на поверхности дорожек качения колец подшипников исследовались на оптико-электронном комплексе. Схема исследовательского комплекса представлена на слайде 17.

Образцы шлифованных поверхностей устанавливали под видеокамерой. Световой поток падал на исследуемую поверхность под углом  $45^\circ$ . Происходила запись изображения исследуемой поверхности, которая поступала в компьютер и в дальнейшем обрабатывалась специальной программой.

Обработка изображения исследуемой поверхности осуществлялась по определенному алгоритму. Формат видеокadra при оценке изображений составлял  $100 \times 120$  пикселей. Задавалось базовое окно (эталон) размером  $6 \times 6$ ,  $8 \times 8$  или  $9 \times 9$  пикселей. В этом окне подсчитывали средний уровень яркости, который сравнивали со значением яркости центрального элемента этого окна, и производили расчет коэффициента корреляции. После этого эталон перемещали на 1 пиксель по полосе  $100 \times 6-9$  пикселей. После того, как данная полоса полностью обрабатывалась, выбранное окно смещали вниз по вертикали на 1 пиксель и выполняли описанные выше действия в следующей полосе.

Таким образом, полученный исходный кадр изображения преобразовывался, и в результате получались бинарные изображения поверхности.

В процессе обработки бинарного изображения подсчитывали коэффициент корреляции по формуле, представленной на слайде 19, и строили корреляционную поверхность. Данная корреляционная поверхность обрабатывалась в специальной компьютерной программе, которая определяла следующие параметры корреляционной функции: амплитуду автокорреляционной функции, частоту и среднеквадратическое отклонение амплитуды автокорреляционной функции.

При помощи оптико-электронного комплекса была произведена оценка шлифованных поверхностей образцов с различными значениями параметра шероховатости  $Ra$ . Для данных образцов были получены значения амплитуды автокорреляционной функции и ее стандартного отклонения. Полученные результаты для шлифованных образцов приведены на слайде 20.

Обработка экспериментальных данных исследования поверхностей шлифованных образцов и колец подшипников позволила получить регрессионные зависимости, связывающие значения параметров шероховатости поверхности  $Ra$ ,  $Rmax$ ,  $Rz$  с амплитудой автокорреляционной функции в зависимости от размера базового окна.

Результаты исследования поверхностей дорожек качения колец подшипников после операции шлифования, полученные оптико-электронным комплексом, были сравнены с данными профилограмм. Мы выявили, что значения параметра шероховатости  $Ra$ , определяемого по амплитуде автокорреляционной функции, на 15...20 % выше, чем величина данного параметра шероховатости, определенная по профилограммам. Связано это с тем, что при анализе шероховатости, по новой методике, исследуется поверхность, а не сечение, как в контактных методах измерения.

Исследование колец подшипников опико-электронным комплексом позволило выявить дефекты на поверхности дорожки качения. Партия колец подшипников для исследования составила 30 штук и была обработана с режимами согласно заводской технологии с применением масляной СОЖ.

На основе проведенных исследований было установлено влияние наличия дефекта на поверхности дорожки качения колец на величину амплитуды автокорреляционной функции и, соответственно, на величину параметра шероховатости поверхности  $Ra$ .

По результатам проведенных исследований был выявлен ряд типичных дефектов на поверхности дорожки качения колец подшипников после шлифования с применением масляной СОЖ. Это такие дефекты, как вкрапление осколков зерен в поверхность, микропроточина, налипание обрабатываемого материала (стружки) на поверхность, наплыв.

Для оценки влияния дефектов приняли степень относительной значимости дефектов, которую определяли по результатам их попарного сравнения между собой по некоторой совокупности признаков .

Типичные дефекты, выявленные на рабочей поверхности дорожки качения колец подшипников, были разделенными нами на 9 групп. Данные группы представлены на слайде 25. Были выбраны основные факторы, влияющие на образование дефектов при шлифовании: врезная черновая подача, врезная подача при правке, состав СОЖ и чистота СОЖ.

К причинам возникновения таких видов дефектов на поверхности дорожек качения колец подшипников можно отнести:

1. Влияние технологических режимов обработки, в частности, длительность процесса выхаживания,
2. Некачественную магнитную сепарацию,
3. Некачественную очистку СОЖ и воздействие свободного абразива, находящегося в СОЖ, на поверхность дорожки качения колец подшипников.

Известно, что загрязнение СОЖ отходами механической обработки существенно снижает качество обрабатываемой поверхности и производительности обработки. В связи с этим, нами была предложена методика оценки качества СОЖ. Применялось следующее оборудование: установка по очистке масляной СОЖ и установка по очистке водной СОЖ. В исследовании использовали два состава СОЖ: масляную СОЖ (масло индустриальное ИС-12 – 97%, олеиновая кислота – 3%,) и водную СОЖ (3%-ная эмульсия АРС – 21М), выбранная по данным литературных источников.

Было произведено исследование качества очистки СОЖ. Пробы СОЖ отбирали до очистки и после. Эффективность очистки СОЖ определяли по нормам ГОСТ Р 50558 по следующим критериям: остаточная концентрация механических примесей, степень очистки и средний размер частиц механических примесей после очистки.

По полученным результатам исследований, представленным на слайде 29, мы установили, что применяемая масляная СОЖ и установка по ее очист-

ке не удовлетворяют техническим стандартам, а водная СОЖ и установка по ее очистке соответствует нормам и критериям технического стандарта.

Проводили исследования опико-электронным комплексом микрогеометрии дорожек качения колец подшипников после шлифования с применением водной СОЖ. Примеры бинарных изображений поверхностей дорожек качения колец представлены на слайде 30. По результатам проведенных исследований было установлено, что количество дефектов на дорожке качения после шлифования с применением водной СОЖ уменьшилось и составило 1...1,5 %. При шлифовании с применением масляной СОЖ дефекты составляли 5 %. Дефекты по своей форме и конфигурации аналогичны дефектам, полученным при шлифовании с масляной СОЖ, однако встречаются у меньшего количества колец и их глубина значительно меньше.

Предложена методика исследования геометрических параметров дорожек качения колец приборных подшипников при шлифовании на жестких опорах с применением масляной и водной СОЖ. Исследовали данные параметры на оборудовании заводской лаборатории.

Были получены профилограммы дорожки качения колец при шлифовании на жестких опорах с применением масляной и водной СОЖ. Анализ полученных результатов позволил установить зависимость величины отклонения от профиля дорожки качения колец от состава СОЖ и времени работы шлифовального круга за период между правками. Данная зависимость представлена на графике (слайд 33). Исследованиями установлено, что при шлифовании колец с водной СОЖ снижается величина отклонения от профиля дорожки качения с 2,2 мкм (при шлифовании с применением масляной СОЖ) до 1,4 мкм. На наш взгляд, это связано с тем, что повысилась эффективность работы абразивного зерна за счет увеличения производительности шлифования с применением водной СОЖ.

Исследовали величину шероховатости поверхности по параметру  $Rz$  при шлифовании с применением масляной и водной СОЖ в зависимости от времени работы шлифовального круга за период между правками. Данная зависимость представлена на графике (слайд 34). Было установлено, что при шлифовании с применением водной СОЖ данный параметр стабилизируется и составляет 0,6 - 0,7 мкм при допустимом значении  $Rz = 0,8$  мкм. При стабильности значений данного параметра происходит более равномерный износ рабочей поверхности шлифовального круга.

Проведено исследование влияния времени обработки и состава СОЖ на такие геометрические параметры дорожек качения колец, как волнистость и гранность. Анализ полученных результатов показал, что состав СОЖ не оказывает влияния на данные параметры, т.к. они связаны с автоколебаниями технологической системы и наладкой положения жестких опор.

Сравнительный анализ теоретических исследований отклонения от круглости на модели, разработанной в программе ANSYS, с эксперимен-

тальными результатами показал хорошую сходимость при статистической обработке данных. И таким образом, угол  $\alpha$  для уменьшения величины отклонения от круглости дорожки качения колец должен составлять  $10^\circ$ .

На основе проведенных экспериментальных исследований геометрических параметров дорожек качения колец установлено, что:

- к факторам, под действием которых формируется отклонение от круглости дорожки качения кольца подшипника при шлифовании на жестких опорах, относятся упругие деформации кольца (что подтверждает наше теоретическое предположение),

- шлифование дорожки качения колец с применением водной СОЖ, по сравнению с масляной СОЖ, стабилизирует отклонение от круглости и шероховатость поверхности, практически не изменяет высоты волнистости и гранности, снижает отклонение от профиля в осевом сечении с 2,1 мкм до 1,3 мкм.

Разработана модель оптимизации режимов шлифования с применением масляной и водной СОЖ. Структурная схема оптимизации представлена на слайде (слайд 39).

При оптимизации процесса шлифования целевой функцией была выбрана производительности процесса и три технических ограничения. Первое ограничение связано с предельно допустимой амплитудой автокорреляционной функции. Данные получены на основе исследования опико-электронным комплексом поверхности дорожек качения колец. Второе ограничение связано с деформацией технологической системы, где  $[f_{max}]$  – максимальный прогиб кольца, допускаемый отклонением от круглости дорожки качения. Третье ограничение связано с допустимым уровнем температуры шлифования, влияющим на структурные и фазовые изменения в обрабатываемом материале, а в ряде случаев приводящим к возникновению прижогов и микротрещин.

Решение данной модели оптимизации позволило получить оптимальные режимы обработки: скорость вращения детали и врезную подачу при шлифовании с применением масляной и водной СОЖ.

Анализ полученных данных показал, что скорость вращения детали при шлифовании с водной СОЖ несколько ниже на 10-15 %, по сравнению с шлифованием с применением масляной СОЖ, в тоже время врезная подача увеличилась в 2,5 раза, а, следовательно, увеличилась производительность процесса шлифования.

Проведены расчеты экономической эффективности от применения результатов исследований диссертационной работы. Рассчитан экономический эффект от увеличения периода стойкости абразивного и правящего инструментов за счет применения водной СОЖ. Получен экономический эффект от изменения режимов шлифования на основе расчета модели оптимизации режимов шлифования, так же рассчитан годовой экономический эффект от повышения производительности труда и снижения брака при изготовлении колец. В итоге общий годовой экономический эффект составил 216180 руб. Ре-

зультаты экономических расчетов подтверждены опытно-промышленной проверкой и внедрением на предприятии ООО «Завод приборных подшипников», г. Самары.

Общие выводы по работе представлены на слайдах 46 и 47.

Спасибо за внимание!

Председатель

Вопросы, пожалуйста. Захаров Олег Владимирович.

Д.т.н., доцент Захаров О.В.

У Вас в названии используются микрогеометрические параметры. Что Вы понимаете под микрогеометрическими параметрами?

Соискатель

Микрогеометрические параметры - это шероховатость и дефекты поверхности дорожки качения колец подшипников.

Д.т.н., доцент Захаров О.В.

У Вас в работе, Вы еще затронули и отклонение формы. У Вас получается тема даже сформулирована несколько уже, чем Вы охватили. И второй вопрос. Вы затронули очень много параметров, можно ли сказать, в первом приближении, какие факторы в наибольшей степени влияют на круглость, волнистость и шероховатость по результатам Ваших исследований?

Соискатель

Мы выяснили, что на отклонение от круглости влияют режимы шлифования и наладка опор. На шероховатость поверхности – качество очистки и состав СОЖ. На волнистость и гранность - вибрации технологической системы.

Председатель

Вопросы, пожалуйста.

Д.т.н., доцент Кирилин Ю.В.

Как считалась или на каких приборах измерялась величина шероховатости до пятого знака после запятой?

Соискатель

Такая точность измерения величины шероховатости получена за счет обработки данных, полученных на оптико-электронном комплексе.

Д.т.н., доцент Кирилин Ю.В.

И главный вопрос. Учитывали ли Вы волнистость поверхности при расчете упругих деформаций и контактные напряжения?

Соискатель

Параметры волнистости в модели не учитывались. Контактные напряжения не рассчитывались.

Д.т.н., доцент Кирилин Ю.В.

А какой размер имела волнистость? Какие требования по техническим условиям на волнистость?

Соискатель

По техническим требованиям на изготовление волнистость – 1,4 мкм, гранность – 0,8 мкм.

Д.т.н., доцент Кирилин Ю.В.

А отклонение от круглости сколько составило?

Соискатель

Отклонение от круглости – 0,8 мкм.

Председатель

Следующий вопрос, пожалуйста. Веткасов Николай Иванович

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, за счет чего повышается производительность? У Вас в названии написано повышение производительности на основе применения оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров. Так за счет чего повышается в данном случае производительность?

Соискатель

При помощи оптико-электронного комплекса были выявлены дефекты поверхности дорожки качения колец после шлифования, которые зачастую не фиксируются контактными методами измерения. На основе проведенных исследований, мы установили причины появления дефектов, к одной из которых относится некачественная очистка масляной СОЖ, и предложили водную СОЖ. Она показала положительные результаты по критериям очистки и по уменьшению дефектов на поверхности дорожки качения. Произвели модель оптимизации режимов шлифования, и в итоге, повысили производительность процесса.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, вроде бы всем известно, что масляная СОЖ эффективнее водной СОЖ, и ее заменяют лишь потому, что она не удовлетво-

рывает по экологическим параметрам. А у Вас новое видение этого вопроса, что водная СОЖ оказывается эффективнее масляной СОЖ?

Соискатель

В рамках нашего исследования мы получили практические результаты, подтверждающие возможность повышения производительности операции шлифования колец с применением водной СОЖ и уменьшения дефектов на поверхности дорожек качения. Ведь мы говорим о шлифовании колец приборных подшипников, в частности, о внутреннем кольце, его внешний диаметр составляет всего 4,2 мм.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Объясните механизм, за счет чего вдруг водная жидкость оказывается эффективнее масляной жидкости?

Соискатель

Исследование шлифования с применением водной СОЖ показали, что у нее лучше показатели по критериям очистки. А расчет модели оптимизации режимов шлифования с применением водной СОЖ показал, что можно увеличить врезную подачу в 2,5 раза, и соответственно повысить производительность процесса.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

А почему? Масляная СОЖ же снижает трение в зоне контакта.

Соискатель

Исследования проводили по заводской технологии, согласно которой проводится контроль по прижогом, которые в принципе не выявляются, как при применении масляной СОЖ, так и водной СОЖ.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

А за счет чего это происходит?

Соискатель

За счет оптимизации режимов, за счет оптимизации наладки положения опор.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Нет, почему же водная СОЖ оказывается лучше? Чем это можно объяснить?

Соискатель

Ее составом, и общей схемой обработки.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.  
А какой состав водной СОЖ?

Соискатель  
3%-ная эмульсия.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.  
Какая эмульсия?

Соискатель  
АРС-21М.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.  
А чем она хороша?

Соискатель  
Данную СОЖ мы подбирали по данным литературных источников.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.  
Еще один вопрос. Покажите, пожалуйста, слайд, где решали оптимизационную задачу. И где же решение оптимизационной задачи?

Соискатель  
Данная задача решалась графически.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.  
А где область допустимых значений?

Соискатель  
Область допустимых значений учитывала влияние дефектов, отклонение от круглости и прижоги при шлифовании, мы не рассматривали минимальные режимы станка.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

А как это, решаем оптимизационную задачу, а область допустимых значений не определяем?

Соискатель  
Мы ее определяем, просто на слайде она не показана, чтобы не ухудшать чтение модели.

Председатель

Бобровский Николай Михайлович, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

Слайды 17, 18, а так же 19 и 20. Видеокамера это ведь способ съема информации, так?

Соискатель

Да, это способ съема изображения поверхности.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

Следующий слайд, пожалуйста. «Видеоизображение поверхности», наверное, неправильный термин, ведь у вас фотография, а не видеофайл?

Соискатель

Да, это цифровое изображение.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

И следующий слайд, пожалуйста. Что такое 3-D модель поверхности? Как получали данное изображение?

Соискатель

Это изображение, полученное после обработки поверхности по определенному алгоритму.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

Наверное, обрабатывается не поверхность, а изображение? А это изображение в каком виде представлено?

Соискатель

Да, изображение поверхности обрабатывается. Программа нам позволяет получить 2-D модель поверхности, и 3-D модель.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

2-D модель это ведь фотография, а что же представляет собой 3-D модель?

Соискатель

По средствам комплекса и программного обеспечения, мы можем визуализировать полученное изображение, и получить 3-D модель поверхности.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

А что за комплекс?

Соискатель

Это оптико-электронный комплекс, разработанный моим научным руководителем профессором Носовым Н.В. и профессором Абрамовым А.Д..

Председатель

Еще вопросы, пожалуйста. Драчев Олег Иванович.

Д.т.н., профессор Драчев О.И.

Скажите, пожалуйста, по каким параметрам происходит оптимизация? У вас есть какая-нибудь аналитическая зависимость и график этой оптимальной зависимости?

Соискатель

Целевой функцией оптимизации является производительность процесса, которая влияла на получение оптимальных значений скорости вращения детали и врезной подачи.

Д.т.н., профессор Драчев О.И.

Обязательно должна быть прямая второго порядка, иначе вы не получите оптимальные значения?

Соискатель

Модель строилась в логарифмической системе координат.

Д.т.н., профессор Драчев О.И.

А ведь эти прямые не дают оптимальных значений, у вас получается лучше, или хуже, но не оптимально. Подумайте. И второй вопрос. Вы остаточные напряжения как-нибудь измеряли?

Соискатель

Нет, мы рассматривали только зону упругих напряжений.

Председатель

Киселев Евгений Степанович, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Скажите, пожалуйста, что вы понимаете под термином дефекты обработки?

Соискатель

Дефекты обработки – это микрогеометрия поверхности дорожек качения, образующаяся под действием определенных факторов.

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Так дефекты – это царапины на поверхности? Вот у вас они хорошо показаны на 24 слайде. Это не микрогеометрия, это царапины?

Соискатель

Это царапины, вмятины, налипание стружки на поверхности, в соответствии со стандартом «Обработка абразивная, Термины и определения».

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

А почему вы не рассматривали основные дефекты при шлифовании колец подшипников – прижоги?

Соискатель

Контроль по прижогам осуществлялся по заводской технологии. В нашем случае прижоги после операции шлифования с применением двух составов СОЖ не обнаружены.

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Вы делаете такие глобальные выводы, что применение водной СОЖ стабилизирует отклонение от круглости, шероховатость поверхности по сравнению с масляной СОЖ. А как можно делать такие выводы, используя два случайных состава СОЖ? Известно, например, что если при шлифовании колец подшипников применяют масляную СОЖ, то это маловязкие жидкости, вязкость которых 4,5, а у вас 12. И вы взяли масляную жидкость, в которую добавляете олеиновую кислоту, которая запрещена уже к использованию.

Соискатель

Данный состав масляной СОЖ до сих пор используется на предприятии. Выбор водной СОЖ производился по литературным источникам.

Председатель

Еще вопросы. Бобровский Николай Михайлович, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

На 24 слайде нужно было лучше написать виды дефектов, а не просто дефекты, тогда было бы понятнее.

Соискатель

Да, согласна.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

И насчет дефектов самой поверхности, я много консультировался по этому вопросу. Что же такое дефект? Это дефект или неоднородность, включение в поверхность? Это нужно уточнить в дальнейшем.

Соискатель

Данные дефекты соизмеримы с высотой шероховатости.

Председатель

С вашего разрешения, я задам пару вопросов.

Какая связь теоретической и практической частей работы? Вы получили рекомендации, которые в дальнейшем подтвердили экспериментальными исследованиями или она была сама по себе?

Соискатель

Мы получили теоретические рекомендации по наладке положения жестких опор, в частности, по положению регулируемой опоры. Теоретические исследования показали, что минимальное отклонение от круглости мы должны получить при угле  $\alpha$  от 5 до 10°. Это подтвердили практические исследования, таким образом, мы имеем адекватную математическую модель.

Председатель

Пожалуйста, 33 и 34 слайды. Вот на этих графиках, как были получены прямые?

Соискатель

Они получены на основе статистической обработки результатов.

Председатель

Вот на графиках, несколько точек расположено в одном диапазоне, а одна существенно отличается. Не понятно, после какого времени работы зафиксирована первая точка?

Соискатель

Первая точка получена после обработки результатов шлифования 5 первых колец.

Председатель

Получается, первую точку на графике вы получили, только начав процесс. Может она носит случайный характер? И на графике по шероховатости у Вас такая же картина.

Соискатель

Данная точка на графиках получена при шлифовании с применением масляной СОЖ, после правки шлифовального круга. Повышенная высота шероховатости связана с самозатачиванием режущей поверхности абразивного инструмента. При появлении площадок износа и приработки рабочей поверхности этот параметр стабилизируются.

Председатель

Таким образом, первая точка получена после нескольких минут работы круга до его правки. Может, ее не надо было учитывать? В реальности круг как бы проскакивает этот момент.

Соискатель

Данные результаты стабильно возникали после правки круга.

Председатель

Еще вопросы. Унянин Александр Николаевич, пожалуйста.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

10 слайд, пожалуйста. У вас здесь представлена расчетная модель. А вы 2-D модель или 3-D модель использовали? Или плоскую задачу решали?

Соискатель

Задача решается с учетом толщины кольца.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

Расчетная модель учитывает нагрузки (силы) и ограничения, которые обеспечивают опоры? Объясните поподробнее.

Соискатель

В качестве нагрузки были приложены силы резания при шлифовании, создана контактная пара взаимодействия кольца и жестких опор.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

А одна составляющая или обе силы резания были приложены?

Соискатель

Была приложена равнодействующая сил резания при шлифовании.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

А как задавались ограничения? Ведь нужно лишить всех степеней свободы, иначе не решиться задача? Как вы задавали ограничения?

Соискатель

Мы рассматривали контактную пару кольцо и опоры, которые являются жестко закрепленными.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

А зачем тогда Вы создавали конечно-элементную сетку на опорах, если они служат как ограничения?

Соискатель

Это особенности программы, конечно-элементная сетка задается на обоих элементах контактной пары, но мы можем указать, какой элемент не участвует в расчетах.

Д.т.н., доцент Унянин А.Н.

Может, тогда не надо было их показывать?

Соискатель

Они необходимы, так как мы еще исследовали углы положения опор.

Председатель

Еще вопросы. Веткасов Николай Иванович, пожалуйста.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, а что является источниками экономической эффективности использования результатов исследований диссертационной работы? У вас же цель повышение производительности. А эффект за счет увеличения периода стойкости шлифовального круга и правящего инструмента.

Соискатель

Это один из источников экономической эффективности, далее на слайдах указаны такие источники, как интенсификация режимов обработки, повышение производительности труда и снижение брака.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, как при решении оптимизационной задачи учитывается свойство СОЖ масляной и водной?

Соискатель

В техническом ограничении при расчете температуры шлифования учитывался коэффициент влияния состава применяемой СОЖ.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Не понятно, почему вы рассчитывали оптимальные значения скорости вращения детали и врезной подачи при различных значениях  $A_{sp}$ ?

Соискатель

$A_{sp}$  это амплитуда автокорреляционной функции, значения которой соответствуют параметру шероховатости  $Ra$  и наличию дефектов на поверхности дорожки качения.

Д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

А как получили значения скорости вращения детали для масляной и водной СОЖ?

### Соискатель

На основе проведенных расчетов модели оптимизации.

### Председатель

Еще вопросы есть (нет). Вопросов больше нет. Работу продолжаем или делаем перерыв? (продолжаем). Тогда слово предоставляется научному руководителю работы доктору технических наук, профессору Носову Николаю Васильевичу.

### Д.т.н., профессор Носов Н.В.

Уважаемые коллеги! Я очень рад, что совет принял эту работу к защите, и я надеялся, что эта работа по-новому откроет эффективность применения смазочно-охлаждающих жидкостей. Потому что во многих случаях, когда шла оценка эффективности очистки СОЖ, использовался только один параметр  $Ra$ . Я считаю, что этот параметр недостаточен для оценки качества СОЖ. С неудовлетворительной очисткой СОЖ мы столкнулись, когда изучали процесс шлифования колец на заводе приборных подшипников. Этот завод делает продукцию для оборонной промышленности, для приборов, в частности космических. В последнее время очень жесткими стали требования к подшипникам по точности и качеству. Поэтому, когда происходит военная приемка, детали подшипников проходят приемку по шероховатости, но есть концентраторы напряжений. Они связаны с тем, что нужно совершенствовать технологию изготовления колец подшипников. Когда я прибыл на завод, сначала я посмотрел, как происходит очистка СОЖ. Заводская установка по очистке масляной СОЖ была приведена на одном из слайдов. Я понимаю тех, кто сторонник применения масляной СОЖ при шлифовании колец подшипников. Да, это - эффективная СОЖ. Но нам известно, что завод авиационных подшипников (г.Самары) отказался от применения масляной СОЖ на операциях шлифования, завод подшипников (9 ГПЗ) также отказался от масляной СОЖ. А завод приборных подшипников до сих пор ее применял, и нас попросили помочь заменить масляную СОЖ на другой состав СОЖ. Поэтому мы занимались и этим вопросом в работе. Конечно, результаты данной работы не окончательны, но работа предлагает для производства изменения условия технологического процесса, делает процесс более экологически чистым. Мы знаем, что по параметрам шероховатости шлифование с применением масляной СОЖ зачастую гораздо эффективнее, чем с водной СОЖ. Но дело в том, что при шлифовании колец приборных подшипников применение масляной СОЖ по шероховатости эффективно, но не эффективно по отклонению профиля дорожки качения колец и дефектам, которые влияют на вибрацию подшипника, на долговечность и надежность работы подшипника. Шероховатость дорожек качения колец подшипников, в рамках которой проходили исследования, составляла 0,1...0,2 мкм. Такая шероховатость встречается редко, и, в основном, у приборных подшипников. Когда мы исследовали па-

раметры поверхности дорожки качения колец подшипников, то результаты показали наличие дефектов. Данные дефекты были выявлены оптико-электронным комплексом, и, зачастую, не отображались на профилограммах. На заводе кольца подшипников контролировали 50 работников и не обнаруживали данных дефектов, которые мы зафиксировали оптико-электронным комплексом, потому что такие типы дефектов выявляются только после корреляционного анализа. Исследования показали, что величина дефекта соизмерима с величиной шероховатости поверхности. При профилографировании данные типы дефектов выявляются только случайным образом, т.к. контролер исследует сечение поверхности, т.е. кольца с дефектами на поверхности дорожки качения не отбраковываются. И на последующем контроле приборных подшипников они показывают неудовлетворительные результаты по вибрации и работоспособности. И мы занимались устранением так же данной проблемы. Мы предложили для оценки эффективности очистки СОЖ применять цифровые технологии. Они эффективнее показывают результат. В работе было предложено на операции шлифования дорожек качения колец подшипников на жестких опорах применять водную СОЖ, что способствовало значительному снижению дефектов, которые были характерны при шлифовании с применением масляной СОЖ. Вот на графиках отклонения от профиля дорожек качения и шероховатости дорожек качения по параметру  $Rz$ . Первая точка, о которой спрашивал Владимир Петрович, это пять обработанных колец. И это говорит, что нужно исследовать и правку шлифовального круга. Хотя в работу Ольги Владимировны не вошел данный вопрос, мы исследовали схему правки шлифовального круга и меняли положение алмазного карандаша, т.к. это сказывается на микрорельефе рабочей поверхности шлифовального круга. Хотя применение масляной СОЖ на операциях шлифования распространено, нам она не дает уменьшения дефектов, выявленных оптико-электронным комплексом. На заводе при обработке колец на 5% колец обнаруживались данные дефекты.

Ольга Владимировна с отличием окончила магистратура, и первые ее публикации датируются 2011 г., в период обучения в магистратуре, имеет публикации в журналах ВАК по теме диссертации. В аспирантуре она занималась данной темой, показала себя как самостоятельный и усердный исследователь.

В данной работе мы впервые говорим о качестве поверхности, ведь ранее оценивалось только качество профиля поверхности. Мы впервые предложили методику, которая оценивает поверхность, и связали параметры поверхности с параметрами шероховатости  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$ . Сейчас у нас больше возможностей оценить воздействие технологии на качество поверхности, в частности, колец приборных подшипников. Я хотел бы поблагодарить совет, с которым мы провели большую совместную работу, за высказанные замечания, которые мы доработали. И теперь уже решение совета, оценить наши труды и научные успехи.

Председатель

Вопросы к Николаю Васильевичу? Салов Петр Михайлович, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Салов П.М.

Какая моющая способность масляной и водной СОЖ? Одинаковая или нет?

Д.т.н., профессор Носов Н.В.

Конечно, нет.

Д.т.н., профессор Салов П.М.

А у какой СОЖ она выше?

Д.т.н., профессор Носов Н.В.

Моющая способность выше у водных СОЖ. Но мы не занимались данным вопросом в нашей работе, т.к. школа профессора Худобина Л.В. досконально исследовала этот вопрос.

Председатель

Спасибо Николай Васильевич. Слово предоставляется учёному секретарю совета для оглашения заключения организации, где выполнялась работа, и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь, д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

В деле соискателя имеется выписка из протокола №4 от 26 октября 2016 г. расширенного заседания кафедры Самарского государственного технического университета, где выполнялась диссертация, в которой отмечается личное участие автора в получении научных результатов, степень обоснованности научных положений, достоверность полученных результатов, степень научной ценности и новизны полученных результатов, практическая значимость работы. Отмечается, что работа достаточно хорошо апробирована в публикациях и в материалах конференций, научно-технических семинаров, в которых участвовал соискатель. В заключении организации приводится вывод, что работа Родионовой О.В. отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, что тема диссертационной работы полностью соответствует специальности 05.02.07, рекомендуется к защите по данной специальности. Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Технология машиностроения» Самарского государственного технического университета.

Председатель

Отзыв ведущей организации, Николай Иванович, пожалуйста.

Ученый секретарь, д.т.н., доцент Веткасов Н.И.

Имеется также отзыв ведущей организации Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Отзыв подписан доктором технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Технологии производства двигателей» Хаймовичем А.И. и доктором технических наук, профессором кафедры «Технологии производства двигателей» Скуратовым Д.Л., и утвержден проректором по науке и инновациям, доктором технических наук, профессором Прокофьевым А.Б. Отзыв положительный. Так же, как и в заключении Самарского государственного технического университета, отмечается актуальность темы и новизна диссертационной работы, степень обоснованности и достоверности полученных результатов, практическая значимость результатов, полученных лично соискателем, публикации и апробация работы.

Вместе с тем в отзыве имеется 3 замечания, которые я с Вашего разрешения зачитаю.

Первое замечание: Предложенная методика исследования микрогеометрии обработанной поверхности носит оценочный характер и требует дальнейшего совершенствования.

Второе замечание: Автор работы не исследовал такие параметры качества поверхностного слоя как микротвердость, остаточные напряжения и структурно-фазовое состояние, которые во многом определяют надежность и долговечность изделия.

И третье замечание: В математической модели для определения оптимальных условий шлифования дорожек качения колец подшипников отсутствуют ограничения, связанные с техническими возможностями станка.

В заключении отзыва ведущей организации отмечается, что работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, имеющую значение для повышения производительности и точности при изготовлении колец приборных подшипников за счет разработки моделей, методик и алгоритмов для определения оптимальных режимов и условий операции шлифования, и соответствующую Положению о присуждении учёных степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель

Так, Николай Иванович, спасибо. Ольга Владимировна, будьте добры, ответьте на замечания ведущей организации.

Соискатель

Хотелось бы ответить на замечания ведущей организации. Я хочу сказать, что поступило три замечания, и с данными замечаниями мы согласны,

т.к. они направлены на расширение области исследования. И если работа будет продолжена в дальнейшем, мы их учтем.

#### Председатель

Ольга Владимировна, спасибо. На автореферат диссертации поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные. Согласны члены совета заслушать обзор отзывов или зачитать их полностью? (обзор). Слово предоставляется Николаю Ивановичу, пожалуйста.

#### Ученый секретарь

Замечания, содержащиеся в отзывах на автореферат диссертации Родионовой Ольги Владимировны. Всего поступило 9 отзывов.

Первый отзыв из Тюменского индустриального университета, подписанный кандидатом технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Технология машиностроения» Некрасовым Р.Ю., доктором технических наук, профессором кафедры «Станки и инструменты» Утешевым М.Х. Замечания отсутствуют. Второй отзыв из Омского государственного технического университета, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Поповым А.Ю. Замечания отсутствуют. Третий отзыв из Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Лобановым Д.В., кандидатом технических наук, профессором кафедры «Колесные и гусеничные машины» Гартфельдером В.А. Четыре замечания: 1. Из автореферата не ясно, какие абразивные инструменты (состав, форма, маркировка и т.д.) использовались в исследовании и как эти параметры использовались при моделировании, так как они оказывают значительное влияние на формирование качества поверхности. 2. Качество обработки оценивалось лишь по величине микронеровностей, хотя на эксплуатационные характеристики изделия влияют также микротвердость и состояние поверхностного слоя обработанной поверхности. 3. В автореферате отсутствует обоснование выбора только лишь двух видов СОЖ, представленных двумя составами, при известной широкой номенклатуре смазывающе-охлаждающих технологических сред. 4. Не ясно, как достигнуто заявленное в названии работы «Повышение производительности операции шлифования на основе опико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения», в общих выводах по работе оценено только повышение производительности от применения СОЖ. Четвертый отзыв из Тульского государственного университета, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Маликовым А.А. Два замечания: 1. Из автореферата не ясны параметры (либо диапазоны изменения параметров) сеток конечно-элементных моделей (в частности, представленной на рис.1), используемых автором в своих исследованиях (стр.7). 2. Из автореферата не ясно, каким образом обеспечиваются метрологические харак-

теристики оптико-электронной системы измерения, описанной на стр. 8-10. Пятый отзыв из Тверского государственного технического университета, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технологии и автоматизации машиностроения» Бурдо Г.Б. Два замечания: 1. На стр. 8 и 13 автор подчеркивает, что отклонение от круглости кольца определяется его упругими деформациями, отклонениями от круглости базовой поверхности кольца подшипника и погрешностью базирования кольца подшипника. Но для отклонения от круглости дорожек качения погрешность базирования при данной схеме установки учитывать не следует, т.к. способ базирования не влияет на формирование указанной погрешности. 2. Есть и некоторые неточности. Рис.7 назван «Зависимость величины деформации кольца в процессе шлифования и отклонения от круглости дорожек качения от врезной подачи и угла». Однако зависимостей для отклонения от круглости на рисунке не приведено. Шестой отзыв из Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Давиденко О.Ю. Четыре замечания: 1. К сожалению, из автореферата не ясно как осуществлялись эксперименты, не представлена методика проведения экспериментальных исследований и обработки опытных данных, отсутствует информация о контрольно-измерительных приборах. 2. Работа была бы более информативной, если бы автор на основе экспериментальных данных разработал эмпирические математические модели исследуемых процессов. 3. В автореферате не достаточно четко сформулированы положения, позволяющие оценить возможности оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожки качения для повышения производительности ее шлифования. 4. Список публикаций автора составлен не совсем корректно. Седьмой отзыв из Липецкого государственного технического университета, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Козловым А.М. Три замечания: 1. На с.8 автореферата указывается, что при исследовании менялся только угол  $\alpha$ , в то время как другими исследователями (Муцянко В.И., Братчиков А.Я., Козлов А.М.) установлено, что на отклонение от круглости при бесцентровом шлифовании значительное влияние оказывает совокупное значение углов между жесткими опорами и точкой контакта режущего инструмента. 2. Из материалов автореферата не ясно, сколько времени занимает измерение шероховатости шлифованной поверхности оптико-электронной системой и почему с уменьшением шероховатости микрорельеф меняется с однонаправленного до стохастического. 3. В автореферате имеются неудачные выражения (с. 6 «Изучен теоретический анализ...»), опечатки (с.7 «условия вырова кольца...»), рис. 1а практически не читается. Восьмой отзыв из Ковровской государственной технологической академии им. В.А. Дегтерева, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Житниковым Ю.З., ученым секретарем совета Ковровской государственной технологической академии, доцентом,

кандидатом технических наук Разумовской О.В. Два замечания: 1. В реферате не сказано как обосновывались и выбирались варианты моделей для разработки компьютерных программ. 2. Во второй главе автор предполагает, что отклонение от круглости кольца подшипника при шлифовании на жестких опорах формируется под действием: упругих деформаций кольца в процессе шлифования, отклонения от круглости базовой поверхности кольца подшипника при установке и погрешности базирования кольца подшипника при установке на жесткие опоры. Возникает вопрос, а не зависит ли отклонение от точности геометрических размеров шлифовального круга. Последний отзыв из Иркутского национального исследовательского технического университета, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология и оборудования машиностроительных производств» Пашковым А.Е., кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технология и оборудования машиностроительных производств» Солер Я.И. Пять замечаний: 1. Учитывая важность КЭ моделирования, в автореферате хотелось бы иметь больше информации об исходных данных. Занимаясь такой проблемой, столкнулись с тем, что в литературе отсутствуют зависимости по силам резания. 2. В зависимости (6) коэффициент  $K_5 = 1,3$  для водной СОЖ стоит в знаменателе и не может характеризовать повышение производительности. 3. Для таблицы 1, учитывая недостаточную осведомленность технологов в терминологии очистки СОЖ желательным было привести пояснения к критериям и примечаниям. 4. На рис.8 и 9 не представлена ОДР для решения задачи оптимизации, не хватает ограничения по минимальной скорости шлифования, зависящей от технических характеристик станка и условий безприжогового шлифования, а линии  $A_{cr}$  имеют противоположное по логике шлифования направления к оптимуму. 5. В автореферате рис.3 не конкретизировано характерна ли такая бинарная картина для других схем шлифования и различных характеристик инструмента.

#### Председатель

Спасибо, Николай Иванович. Так, Ольга Владимировна, пожалуйста, ответьте на замечания в отзывах на автореферат.

#### Соискатель

В целях экономии времени и систематизации замечаний, содержащихся в отзывах на автореферат, мы разделили замечания на 4 группы.

К первой группе отнесены замечания и вопросы, исчерпывающая информация по которым содержится в диссертации. К этой группе замечаний относятся: первое замечание профессора Д.В. Лобанова и профессора В.А. Гартфельда, первое и второе замечания профессора А.А. Маликова, первое и третье замечания профессора О.Ю. Давиденко, первое замечание профессора Ю.З. Житникова и доцента О.В. Разумовской, первое, третье и пятое замечания профессора А.Е. Пашкова и доцента Я.И. Солера.

Ко второй группе отнесены замечания, носящие характер пожеланий или указаний о расширении области исследований. К ним относятся: второе замечание профессора Д.В. Лобанова и профессора В.А. Гартфельда, второе замечание профессора Г.Б. Бурдо, первое и третье замечания профессора А.М. Козлова, четвертое замечание профессора А.Е. Пашкова и доцента Я.И. Солера.

К третьей группе относятся критические замечания, с которыми мы согласны. К таким замечаниям относятся: третье замечание профессора Д.В. Лобанова и профессора В.А. Гартфельда, второе замечание профессора О.Ю. Давиденко.

На замечания четвертой группы мне хотелось бы ответить:

По поводу четвертого замечания в отзыве профессора Г.Б. Бурдо отметим, что повышение производительности достигнуто так же на основе расчета модели оптимизации процесса шлифования - режимы шлифования были получены выше, чем применяемые на предприятии, а так же за счет уменьшения дефектов.

В ответ на первое замечание профессора Г.Б. Бурдо отметим, что схема базирования влияет на погрешность базирования при установке кольца на жесткие опоры, что доказано в работах Б.М. Бржозовского и О.В. Захарова.

В ответ на четвертое замечание профессора О.Ю. Давиденко хотелось бы отметить, что список публикаций в автореферате составлен согласно ГОСТ «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

По поводу второго замечания профессора А.М. Козлова отметим, что микрорельеф шлифованных поверхностей дорожек качения колец подшипников меняется с однонаправленного до стохастического, но данная зависимость требует дальнейшего исследования.

По поводу второго замечания профессора Ю.З. Житникова и доцента О.В. Разумовской хотелось бы отметить, что размеры шлифовального круга влияют на силу резания, которую мы учитываем при построении модели процесса шлифования для определения величины деформации кольца, соизмеримой с отклонением от круглости дорожки качения.

В ответ на второе замечание профессора А.Е. Пашкова и доцента Я.И. Солера отметим, что коэффициент  $K_5$  характеризует степень снижения температуры в зоне резания.

Искренне благодарю всех ученых, приславших отзывы на автореферат.

#### Председатель

Спасибо, Ольга Владимировна. Переходим к выступлению оппонентов. Первым оппонентом является Полянчиков Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета. Он прислал письмо, что по причине болезни не может присутствовать на защите Родионовой Ольги

Владимировны, лист нетрудоспособности приложен. Таким образом, отзыв Юрия Николаевича зачитает Николай Иванович, пожалуйста.

Ученый секретарь

Прошу время, что бы найти отзыв в деле соискателя.

Председатель

Техническая ошибка. Если совет не против, тогда предоставим слово второму официальному оппоненту Зверовщикову Владимиру Зиновьевичу. (нет, не против). А Николай Иванович за это время найдет отзыв. Зверовщиков Владимир Зиновьевич, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Зверовщиков В.З.

Уважаемые члены диссертационного совета, уважаемый председатель, работа, которую мы сегодня заслушали, выполнена в Самарском государственном техническом университете, и является развитием работ научной школы ВУЗа. Огромный вклад в становление научной школы внес профессор Носов Николай Васильевич, известный в стране ученой в области технологии машиностроения. Поэтому мне было интересно ознакомиться с новой работой этой авторитетной научной школы, с которой наш ВУЗ в течение ряда лет поддерживает научные контакты. Кроме того, в годы плановой экономики в г. Пенза был построен специализированный завод по производству приборных подшипников, ГПЗ – 24, в дальнейшем он был перепрофилирован, но те проблемы, которые поднимаются в работе Родионовой Ольги Владимировны, были актуальны и для освоения выпуска продукции на нашем предприятии. Разрешите довести до Вас основные положения отзыва.

Общая характеристика работы и соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 53 рисунка и 10 таблиц. Общий объем диссертации 137 страниц, включая библиографический список из 125 наименований на 13 страницах и семь приложений на 10 страницах, в которых приведены результаты расчета напряжений, профилограммы и круглограммы профиля внутренних колец подшипников, а также копии документов, подтверждающих внедрение результатов работы.

По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них три статьи в изданиях, входящих в перечень, утвержденный ВАК РФ.

Все опубликованные работы соответствуют теме диссертации и раскрывают ее основное содержание.

Структура диссертации общепринятая.

Во введении автором сформулирована актуальность темы исследования, обоснована ее теоретическая и практическая значимость, представлены структурная схема реализации задач исследования и структура диссертации.

В первой главе приведен аналитический обзор работ по формообразованию профиля колец приборных подшипников шлифованием. Показано, что наибольшее влияние на производительность обработки и качественные характеристики шлифованных поверхностей оказывают силовые и тепловые деформации при установке колец на жесткие опоры, а отсутствие методики количественной оценки микрогеометрии и дефектов поверхности при шлифовании не исключает появление брака. На основе обзора сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

Во второй главе разработана конечно-элементная модель процесса шлифования на основе программного пакета ANSYS, которая позволила оценить деформации кольца и их влияние на отклонение от круглости профиля дорожки качения. Предложено для уменьшения деформаций кольца располагать регулируемую опору под углом  $\alpha = 5 \dots 10^\circ$  от горизонтальной линии, проходящей через ось кольца.

В третьей главе приводятся методика и результаты оптико-электронного исследования микрогеометрии и дефектов поверхности внутренних колец подшипников после шлифования. Предложено в качестве параметра микрогеометрии поверхности кольца использовать амплитуду автокорреляционной функции, и получены зависимости, связывающие ее с такими параметрами шероховатости как  $Ra$ ,  $Rz$  и  $Rmax$ . Это позволило учесть влияние на параметры шероховатости поверхности дефектов, полученных при шлифовании.

Предложена классификация дефектов на рабочей поверхности колец подшипников и установлены факторы, влияющие на их образование. Выявлены наиболее значимые факторы, которыми являются врезная подача при правке шлифовального круга, врезная черновая подача при шлифовании, состав и качество очистки смазочно-охлаждающей жидкости.

В четвертой и пятой главах приведены методики и результаты экспериментальных исследований профильного шлифования внутренних колец подшипников при использовании СОЖ на масляной и водной основе, а также предложены модели оптимизации режимов шлифования для этих двух СОЖ.

При построении модели оптимизации процесса профильного шлифования в качестве технических ограничений приняты амплитуда автокорреляционной функции, учитывающая шероховатость поверхности и дефекты на дорожке качения подшипникового кольца, отклонение от круглости, связанное с деформациями кольца при установке на жесткие опоры, и температура шлифования, которая влияет на структурные и фазовые изменения в материале кольца, что может привести к возникновению прижогов и микротрещин на поверхности.

Установлено, что применение СОЖ на водной основе при шлифовании позволило стабилизировать шероховатость поверхности и отклонение подшипникового кольца от круглости, а также снизить отклонение профиля в осевом сечении в 1,6 раза с 2,1 мкм до 1,3 мкм. При этом производительность шлифования увеличилась в 1,7...2 раза.

В шестой главе представлены результаты промышленной апробации и внедрения результатов исследований в производство.

Показано, что экономический эффект достигнут за счет снижения брака при использовании СОЖ на водной основе с 5% по базовой технологии до 1,5% по предлагаемой, и повышение производительности шлифования путем оптимизации технологических режимов.

Экономический эффект на 1 станок при годовой программе выпуска колец 120000 штук составил 216180 руб.

Приложения содержат материалы, позволяющие более подробно раскрыть некоторые разделы диссертации.

В целом по объему и структуре диссертация соответствует установленным требованиям.

Автореферат раскрывает основные положения диссертации, а тема диссертационной работы соответствует заявленной специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

#### Актуальность темы

Повышение эксплуатационных характеристик опор качения позволит увеличить надежность и ресурс машин и механизмов, а, следовательно, конкурентоспособность изделий отечественного машиностроения на мировом рынке. Перспективным направлением повышения эксплуатационных характеристик опор качения является технологии обработки рабочих поверхностей. Основные точностные параметры колец подшипников качения формируются на операции шлифования. Особенно велика трудоемкость обработки колец прецизионных приборных подшипников. Ограниченные габаритные размеры колец, их малая жесткость при высоких требованиях к точностным параметрам и качеству поверхности создают серьезные технологические трудности на операции формообразования профиля шлифованием. Поэтому актуальность темы диссертации Родионовой О.В., направленной на повышение производительности обработки и обеспечение качества поверхности внутренних колец приборных подшипников при шлифовании на жестких опорах не вызывает сомнений.

#### Научная новизна диссертации и значимость основных выводов и результатов работы

Диссертация Родионовой О.В. представляет собой комплекс научных исследований, направленных на усовершенствование технологического процесса внутренних колец приборных подшипников на операции шлифования путем оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров поверхности качения, применения СОЖ на водной основе и оптимизации технологических режимов.

В результате исследований автор получил следующие важные научные результаты:

- разработана конечно-элементная модель и получены результаты теоретических исследований процессов деформации и образования отклонения

от круглости дорожек качения колец подшипников при шлифовании на жестких опорах.

- предложена методика определения шероховатости и дефектов на рабочей поверхности внутренних колец подшипников оптико-электронным комплексом на основе создания квазиоптимальных корреляционных алгоритмов.

- получены регрессионные зависимости, связывающие параметры шероховатости поверхности  $Ra$ ,  $Rz$  и  $Rmax$  дорожек качения внутренних колец приборных подшипников с амплитудой автокорреляционной функции.

- получены результаты экспериментального исследования влияния состава и чистоты СОЖ на производительность шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников.

- получены результаты экспериментального исследования влияния режимов шлифования, а также состава и чистоты СОЖ на качество поверхности и образование дефектов при шлифовании.

- предложен системно-структурный подход к оптимизации процесса профильного врезного шлифования, в котором обобщены и дополнены технические ограничения по следующим исходным данным: амплитуде автокорреляционной функции поверхности дорожки качения, допустимому отклонению от круглости дорожки качения и температуре шлифования.

Самостоятельную научную ценность имеют методики проведения экспериментальных исследований производительности процесса и методика исследования качества СОЖ, а также результаты промышленных испытаний.

#### Анализ и достоверность основных выводов

Исходные положения, использованный в работе математический аппарат, применение апробированных методик, современного оборудования и приборов убеждают в корректности полученных автором результатов.

Выводы по главам и по работе в целом отражают содержание и ценность работы.

В то же время следует отметить следующее.

Вывод первый представляет собой констатацию выполненных в работе исследований и не содержит конкретной информации.

Вывод второй является новым, в нем сформулированы результаты исследований по определению шероховатости с учетом дефектов поверхности по амплитуде автокорреляционной функции и обосновано расхождение полученных параметров шероховатости с данными, полученными путем измерения контактными приборами.

Вывод третий является новым и содержит количественную оценку уменьшения отклонения профиля кольца в осевом сечении при использовании предложенной автором СОЖ на водной основе.

Вывод четвертый является новым, но не содержит конкретной информации по величине отклонения от круглости внутреннего кольца подшипника при шлифовании на жестких опорах.

Вывод пятый достоверен, является новым и важным для практической реализации технологии в условиях производства, но сформулирован нечетко и не подтвержден конкретными данными, показывающими взаимосвязь технологических факторов с параметром оптимизации.

Вывод шестой является новым, содержит количественную оценку снижения брака при изготовлении подшипниковых колец и роста производительности шлифования, а достоверность вывода подтверждена экономическим эффектом, полученным при внедрении в производственных условиях результатов исследований, выполненных автором.

#### Практическая ценность работы

Практическая ценность, полученных в работе результатов, состоит:

- в применении оптико-электронного комплекса для исследования шероховатости и дефектов поверхности дорожек качения колец подшипников после шлифования;

- в определении оптимальных режимов профильного шлифования для применяемой в производстве масляной СОЖ и предлагаемой автором СОЖ на водной основе, применение которой позволило в 1,7 – 2,0 раза повысить производительность шлифования;

- в уменьшении брака на операции профильного шлифования внутренних колец подшипников с 5% до 1...1,5% при использовании СОЖ на водной основе;

- во внедрении результатов исследований на ООО «Завод приборных подшипников», г. Самара с общим экономическим эффектом 216180 руб;

- во внедрении результатов исследований в учебный процесс путем постановки новых лабораторных работ и использовании для подготовки магистерских диссертаций по направлению 15.04.05.

К работе имеются некоторые недостатки и замечания.

К недостаткам диссертации следует отнести нижеуказанные замечания.

1. В работе мало внимания уделено качеству правки шлифовального круга, хотя сам автор в третьей главе диссертации (с. 72) и автореферате (с. 11) отмечает, что наиболее значимыми факторами, влияющими на образование дефектов, являются качество очистки СОЖ, вклад 11,1 %, врезная черновая подача при шлифовании, вклад 7,4 %, врезная подача при правке шлифовального круга и вид СОЖ, вклад по 6,2 % оба фактора.

2. Не приведено обоснование выбора состава СОЖ на водной основе, которая предложена взамен масляной СОЖ, используемой на производстве, хотя вязкость СОЖ и поверхностная активность ее компонентов оказывают существенное влияние на физико-химические процессы в зоне резания и формирование качественных параметров шлифованной поверхности.

3. Не понятен вклад автора в разработку оптико-электронного комплекса и программного обеспечения к нему (см. с.4 автореферата), хотя в тексте диссертации (с.54, 55, 59 и 62), что они разработаны другими авторами.

4. Имеются отдельные неточности редакционного и стилистического

характера в тексте диссертации, указываются страницы, на которых имеются данные погрешности.

#### Форма изложения и оформления материалов диссертации

Диссертация имеет целостную структуру и единый стиль изложения материала. Написана технически грамотным языком, логично изложена и аргументирована, что позволило раскрыть как частные аспекты рассматриваемых задач, так и всей работы в целом. Рисунки выполнены качественно. Материалы приложений содержат необходимую информацию и документацию.

В целом работа оформлена достаточно хорошо, а отдельные шероховатости, отмеченные выше, не снижают высокой оценки работы.

#### Заключение

В целом диссертация Родионовой представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, которая вносит существенный вклад в решение актуальной научно-технической задачи по повышению производительности и обеспечению точности профильного шлифования колец приборных подшипников.

По актуальности, объёму, научно-техническому уровню и практическому значению диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Родионова Ольга Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Спасибо за внимание. (Отзыв прилагается)

#### Председатель

Спасибо, Владимир Зиновьевич, присаживайтесь. Ольга Владимировна, пожалуйста, ответьте на замечания.

#### Соискатель

Владимир Зиновьевич, хочу Вас поблагодарить за отзыв и сделанные замечания, и хочу на них ответить. С первым замечанием я согласна. Да, в работе мы не уделили внимание правке шлифовального круга. Второе замечание я хотел бы пояснить. Состав водной СОЖ выбирался по данным проведенного литературного обзора. Третье замечание по поводу моего вклада в разработку оптико-электронного комплекса. Комплекс был разработан моим научным руководителем профессором Носовым Н.В. и профессором Абрамовым А.Д., а мной была разработана методика оценки дефектов и микрогеометрии дорожек качения колец подшипников на основе использования оптико-электронного комплекса, а также мной были получены регрессионные зависимости для оценки микрогеометрии поверхности дорожек качения колец подшипников. С четвертым замечанием я согласна.

#### Председатель

Спасибо, Ольга Владимировна. Но на третье замечание Вы не ответили. Вы сказали, что обоснованием выбора СОЖ является обзор литературных источников, а это не обоснование, в литературных источниках можно найти марку, состав, но не обоснование. Отзыв официального оппонента Полянчикова Юрия Николаевича зачитает Николай Иванович.

#### Ученый секретарь

Отзыв официального оппонента Полянчикова Юрия Николаевича на диссертацию Родионовой Ольги Владимировны.

#### Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена в Самарском государственном техническом университете и состоит из введения, шести глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы 125 наименований.

Основное содержание работы изложено на 137 страницах машинописного текста, содержит 44 формулы, 10 таблиц и 53 рисунка.

Отражена актуальность темы диссертационного исследования и отмечается, что в практике современного производства приборных подшипников происходит постоянное ужесточение требований к долговечности, надежности и точности геометрических параметров деталей. Профильное шлифование дорожек качения внутренних колец приборных подшипников на жестких опорах применяется на заключительном этапе технологического процесса благодаря своей высокой производительности.

На взгляд диссертанта (и в этом с ним согласен оппонент), наибольшие трудности вызывает стабильное обеспечение геометрических параметров точности, качества дорожек качения колец и отсутствия дефектов на рабочих поверхностях деталей подшипников в зависимости от следующих технологических факторов.

Повышение точности и качества поверхностей колец подшипников сопровождается неуклонным ужесточением требований к достоверности результатов их измерения, к точности измерительных приборов и методам обработки данных, и поэтому решение этой проблемы является актуальной.

Основные научные положения, составляющие научную новизну работы и выносимые на защиту:

1. Конечно-элементная модель и результаты теоретических исследований процессов деформации и образования отклонения от круглости дорожек качения колец подшипников при шлифовании на жестких опорах.

2. Методика определения шероховатости и дефектов на рабочей поверхности внутренних колец подшипников оптико-электронным комплексом на основе создания квазиоптимальных корреляционных алгоритмов.

3. Регрессионные зависимости, связывающие параметры шероховатости поверхности  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$  дорожек качения внутренних колец приборных подшипников с амплитудой автокорреляционной функции.

4. Результаты экспериментального исследования влияния состава и чистоты СОЖ на производительность шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников.

5. Результаты экспериментального исследования влияния режимов шлифования, а также состава и чистоты СОЖ на качество поверхности и образование дефектов при шлифовании.

6. Системно-структурный подход к оптимизации процесса профильного врезного шлифования, в котором обобщены и дополнены технические ограничения по следующим исходным данным: амплитуде автокорреляционной функции поверхности дорожки качения, допустимому отклонению от круглости дорожки качения и температуре шлифования.

Отмечается степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается корректным использованием методов конечно-элементного моделирования, регрессионного анализа и системно-структурного подхода к оптимизации процесса обработки, используемого автором.

Диссертантом изучены и критически проанализированы известные достижения и теоретические положения в области профильного шлифования деталей при достижении высокой точности и качества поверхности ответственных деталей машиностроения.

Список использованной литературы включает 125 наименований. Выводы и рекомендации объективно характеризуют диссертационную работу и подтверждают достаточную степень обоснованности научных положений, принятых в работе.

Отмечается достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Соискатель поставил и решил в своей диссертации весьма сложную задачу повышения производительности профильного шлифования дорожек качения внутренних колец приборных подшипников с одновременным повышением точности и качества обработанных поверхностей.

Постановка такой задачи уже предопределяет научную новизну диссертационных исследований. Достоверность результатов научных исследований подтверждена результатами при изготовлении приборных подшипников на ООО «ЗПП» г. Самары.

Практическая значимость работы заключается:

1. В разработке и внедрении оптико-электронного комплекса для исследования шероховатости и дефектов поверхности дорожек качения колец подшипников, полученных при шлифовании.

2. В определении оптимальных режимов профильного шлифования дорожек качения в зависимости от СОЖ.

3. В уменьшении брака по дефектам на рабочей поверхности внутренних колец подшипников с 5 % при шлифовании с применением масляной СОЖ до 1...1,5 % при использовании водной СОЖ.

4. Во внедрении результатов исследований при изготовлении прибор-

ных подшипников на ООО «ЗПП», г. Самара с общим экономическим эффектом 216180 руб.

5. Во внедрении результатов научно-исследовательских работ в учебный процесс при проведении лабораторных работ и выполнении магистерских диссертаций по направлению 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Публикации и апробация работы. Диссертация написана на квалифицированном уровне, снабжена достаточным количеством иллюстративного материала, ссылками на авторов и источники, откуда заимствованы отдельные результаты. Выводы позволяют оценить результативность выполненных исследований.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы и позволяет оценить основные результаты, полученные лично автором, а также выводы и рекомендации, вытекающие из проведенных исследований.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать на промышленных предприятиях, осуществляющих изготовление приборных подшипников.

Замечания по диссертационной работе:

1. На рис. 5 автореферата (он же 4.9 на с. 87 текста диссертации) графические зависимости доказывают положительное влияние водоземлюльсионной СОЖ по сравнению с масляной на уменьшение отклонения от профиля дорожки качения при шлифовании. Однако графики на рис. 6 автореферата (он же рис 4.10 на с. 89 текста диссертации) доказывают, что положительно влияет на уменьшение высоты микронеровностей поверхности дорожки качения масляная СОЖ, особенно за период между правками шлифовального круга, начиная с трех минут и более, в то время как водная СОЖ в аналогичных условиях никакого влияния не оказывает. Почему в выводах по работе отмечено положительное влияние водных СОЖ?

2. На рис. 7 автореферата представлены четыре графика, характеризующие отклонения от круглости дорожек качения в зависимости от подачи. В пояснениях к рис. 7 показано, что должно быть пять графиков. Кроме того на все графики приведены только четыре экспериментальные точки.

3. На представленных рис. 8, 9 автореферата (те же 5.2 и 5.3 на с. 103 текста диссертации) моделях оптимизации режимов шлифования с масляной и водной СОЖ не выделен многоугольник решений, внутри которого любая точка удовлетворяет всем неравенствам, соответствующим приведенным ограничениям, в результате чего трудно определить оптимальные условия проведения процесса обработки.

4. В выводах, приведенных автором в главе 1 на с. 22, показано, что оптимальная наладка углов жестких опор при шлифовании позволяет уменьшить погрешность базирования, хотя об оптимальности решения этой задачи ничего не сказано.

5. В главе 1 на с. 24 приведены оптимальные характеристики шлифовальных кругов для обработки подшипниковых сталей, среди которых упоминается пористость, хотя она не является характеристикой абразивного инструмента. Для этого существует иная характеристика – структура круга.

6. Не понятно, почему модуль упругости шарикоподшипниковой стали равен  $2,11 \cdot 10^5$  МПа, а не  $2,11 \cdot 10^5$  МПа (так отмечено в тексте и в автореферате) – в тексте на с. 40.

7. При расчете силы резания  $P_z$  используется формула (2.4, с. 42), но зависимость эта взята из литературных источников или выведена автором – не ясно, т.к. ссылок на это нет.

8. В числе параметров автокорреляционной функции автор приводит среднеквадратическое отклонение. Этот параметр носит название «стандартное отклонение», ссылка на ГОСТ.

9. В разделе 5.2 «Расчет оптимальных режимов шлифования» зависимости, отражающие в математической форме ограничения, не имеют нумерации.

Общая характеристика диссертационной работы Родионовой Ольги Владимировны:

1. Диссертационная работа Родионовой Ольги Владимировны является законченной научно-квалифицированной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические разработки, направленные на решение актуальной для промышленности задачи повышения производительности операции шлифования колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения.

Тем самым диссертация соответствует критерием раздела 2 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

2. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Методики и средства для выполнения исследований адекватны решаемым задачам.

3. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

4. Диссертация имеет определенную практическую ценность, так как предложенные соискателем методы и оборудование позволяют повысить эффективность процессов шлифования приборных подшипников.

5. Степень апробации результатов работы путем опубликования основных положений в печати, выступлений на научно-технических конференциях, симпозиумах и внедрения в действующее производство достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя весьма высоки.

6. Общие выводы отражают в полном объеме полученные в ходе диссертационного исследования основные результаты работы.

7. Содержание автореферата диссертации отражает основные положения работы и доказательства их достоверности.

На основании вышеизложенного считаю, что рецензируемая диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Родионова Ольга Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Юрий Николаевич Полянчиков, почетный работник Высшего профессионального образования Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Волгоградского государственного технического университета. (Отзыв прилагается)

#### Председатель

Спасибо, Николай Иванович. Ольга Владимировна, ответьте на замечания оппонента.

#### Соискатель

На первое замечание хотелось бы ответить, что в выводах отмечено положительное влияние водной СОЖ, так как ее применение стабилизирует отклонение от круглости и шероховатость поверхности, практически не изменяет значения высоты волнистости и гранности, существенно снижает отклонение от профиля в осевом сечении. Именно поэтому в выводах говорится о положительном влиянии водной СОЖ на геометрические параметры дорожек качения при шлифовании на жестких опорах.

В ответ на второе замечание, хотелось бы отметить, на рис. 7 автореферата представлены только четыре экспериментальные точки, так как данный график отображает сравнение ранее полученных теоретических и экспериментальных данных. Теоретические данные уже были представлены на рис. 2, поэтому на рис. 7 отображены только экспериментальные точки.

С третьим замечанием я согласна.

На четвертое замечание хотелось бы ответить, что выводы в главе 1 являются выводами на основе проведенного литературного обзора. Вопросами влияния оптимальной наладки жестких опор на погрешность базирования занимались в своих работах Б.М. Бржозовский и О.В. Захаров.

С пятым и шестым замечаниями я согласна.

В ответ на седьмое замечание хотелось бы отметить, что зависимость расчета силы резания при шлифовании была взята из литературных источников, это справочник технолога-машиностроителя под редакцией Косиловой и Мещерякова.

С восьмым замечанием я согласна.

По поводу девятого замечания хотелось бы ответить, что не приведены ссылки на формулы в разделе, так как они являются промежуточными расчетными формулами.

На этом у меня все, что касается замечаний в отзыве оппонента Поляничкова Ю.Н.

Председатель

Спасибо, Ольга Владимировна. Приступаем к обсуждению работы. Пожалуйста, кто хочет высказаться. Олег Владимирович Захаров.

Д.т.н., доцент Захаров О.В.

Уважаемые коллеги, представленная сейчас диссертационная работа производит благоприятное впечатление, как актуальностью поставленной задачи, так и значимостью полученных научных и практических результатов. Шлифование на жестких опорах известно достаточно давно, и в свое время в 60-е годы стало неким прорывом в технологии изготовления подшипников. Но время идет, и постоянно повышаются требования по точности, и постоянно возникают определенные проблемы. Я с этими проблемами тоже в свое время столкнулся. Дело в том, что необходимо шлифовать дорожку качения, но чтобы ее качественно обработать вводят дополнительные операции: это шлифование торцов и шлифование бортов, при этом трудоемкость многократно возрастает. Но все равно иногда не удается достигнуть параметров точности и качества, которые заданы. И мне показалось, очень логично были рассмотрены все факторы, которые влияют и на точность формы, как в поперечном сечении: это профиль дорожки и круглость, так и соответственно шероховатость, волнистость и дефекты поверхности. Показано, что наибольшие проблемы возникают именно по дефектам поверхности, и на этом было сосредоточено основное внимание. И было показано, что качество очистки СОЖ на это влияет в большей степени. Мне представляется, что так оно и есть, потому что на Саратовском подшипниковом заводе тоже были схожие проблемы. Что же сделано? Сделано в работе не мало, т.е. предложена методика цифровой обработки и за этим, безусловно, будущее. Когда используется не профилограф, профилометр, который дает отдельные сечения, или если более точно, то по методике ИСО необходимо пять сечений рассматривать, а рассматривается топография поверхности в целом. И соответственно, это все взаимно увязано, и, в конечном счете, привело к тому, что проблема повышения производительности была в работе решена. А раз та цель, которая изначально была поставлена, достигнута, значит, работа, безусловно, сложилась. Я буду поддерживать эту работу, спасибо.

Председатель

Спасибо, Олег Владимирович. Кто еще хочет высказаться. Евгений Степанович Киселев.

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Уважаемые коллеги, я хочу обратить Ваше внимание на название работы «Повышение производительности операции...на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров...». Вот за счет чего повышается производительность? Надо было начинать работу, написав штучное время операции. Ведь в штучное время операции входит контроль микрогеометрических параметров дорожек качения. А этого в данной работе нет. Уважаемая соискательница дважды докладывала на нашей кафедре. На первом заседании нами было сделано много замечаний, чувствуется, что над ними была проведена работа. Когда второй раз она докладывала, я был в командировке, иначе потребовал бы именно это. Причем здесь СОЖ? СОЖ взята в качестве примеров результатов сравнения при шлифовании с применением масляной и при шлифовании с применением водной СОЖ. Масляная СОЖ показывает не очень хорошие результаты, и тенденция сохраняется. Это, наверное, действительно так, поскольку к продукции из года в год лавинообразно возрастают требования по качеству. Неделю назад мне позвонили с г. Уфы, с авиационного завода. Поступила информация с Уфимского авиационного завода, в объединенной корпорации двигателестроения, в конструкторско-технологическую документацию, кроме известных факторов: точность и шероховатость, потребовали ставить остаточные напряжения. Ведь к деталям двигателей предъявляются особые требования по качеству, и на западе, это уже есть, а наша промышленность существенно отстает в этой области. Я с подшипниками давно не имел дело, но когда шлифуют дорожку качения колец подшипников, были и есть приборы, которые контролируют шероховатость в поперечном направлении на плоских поверхностях. Кольца подшипников очень тяжело контролировать в поперечном положении, хотя, конечно, ухищрения были. Но главным образом, контролируют вдоль поперечного сечения. Раз проконтролировали профилометром, второй раз, при этом все равно можешь пропустить огромное количество дефектов, так как они не попали в данное сечение. И тут появляется Николай Васильевич Носов, и все должны его благодарить. Он предлагает отказаться от профилографирования, а использовать для этих целей оптико-электронный комплекс и специальную методику. Именно этот метод контроля позволяет резко увеличить производительность операции шлифования за счет сокращения времени контроля, и за счет того, что он не пропускает дефекты: риски и прочие. Но, к сожалению, этого я в работе не услышал. Работа, на мой взгляд, была бы лучше представлена, ведь материал есть, но надо более выигрышно его представить. Если бы это так было представлено, у нас не было бы никаких дискуссий на тему, а почему водная СОЖ лучше, чем масляная. Здесь, на мой взгляд, этот эффект получили случайно. Так как взята случайная масляная СОЖ, которая не применяется для шлифования колец подшипников, но традиционно применяется на данном предприятии, и для того, что повысить поникающую способность масла добавляют 3 % олеиновой кислоты, которая давно запрещена к использованию. Если использовать при шлифовании ко-

лец подшипников масляную СОЖ, то она должна быть маловязкой, их можно было сравнить. Но в данной работе не важен состав СОЖ, и не надо было акцентировать, что вы выбирали состав, вы не выбирали, а просто взяли два примера СОЖ. В целом, конечно, данная работа имеет большую перспективу, прежде всего за счет того, что контроль на основе применения оптико-электронного комплекса позволяет сразу оценивать всю поверхность по наличию дефектов, и в итоге в разы повышает производительность шлифования современных высокоточных колец приборных подшипников, в которых данные дефекты недопустимы. На этом у меня все.

Председатель

Евгений Степанович, спасибо. Так какое Ваше решение?

Д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Положительное. Я вижу перспективы в данной работе.

Председатель

Евгений Михайлович Булыжев, пожалуйста.

Д.т.н., доцент Булыжев Е.М.

Я удивился, что Евгений Степанович Киселев вместо того, что бы говорить про СОЖ, стал говорить об оптико-электронном комплексе. Мне тоже понравился данный метод, который сразу по всей площади поверхности позволяет определить, есть дефекты или нет. Меня поразило, когда я приехал на Завод приборных подшипников г. Самара, меня попросил Носов Николай Васильевич помочь с точки зрения повышения производительности и перехода на водную СОЖ, что там 95 % брака. То есть, чтобы сделать 5 колец, они делают 100, а 95 штук бракуют. Я подобной ситуации нигде не видел по расточительству. И только маленький размер колец оправдывал данную ситуацию, оставлял не замеченной до сих пор. Когда мы увидели, как на заводе очищается смазочно-охлаждающая жидкость, конечно, были поражены. Стало ясно, что эффективно очистить масляную СОЖ, в условиях завода, фильтрованием через сетчатый фильтр, отстаиванием, не представляется возможным. Я не буду объяснять, почему на данном заводе именно такая масляная СОЖ, она в течение 30 лет применяется. В работе она взята как база для сравнения, можно ли уйти от нее. И в работе решалась данная задача, которую поставил завод, а не сверхнаучная задача. Это работа на заводе была договорная. Я взял пробы данной жидкость после обработки, и отстоял в специальном сосуде, на дне которого выпал сплошной слой механических примесей, именно стружки, а не абразива. Таким образом, стало ясно, что основная причина в СОЖ. И когда я посмотрел изображения поверхности, полученные оптико-электронным комплексом, я ужаснулся. Мы все знаем ГОСТы, нормы по влиянию механических примесей на шероховатость поверхности, все это здорово. Но там был очень хитрый момент, всегда идет речь об абразиве. По-

тому что, как только мы выкидывали абразив из шлама, сразу исчезало влияние. И в теории это никак не отражалось, стружка же мягче. И этот вопрос исчез. И только в работе Носова Николая Васильевича я понял, что же происходило. А происходило вдавливание или протаскивание вместе с зерном абразива стружки металла. Я, конечно, не уверен, что они все дефекты расшифровали правильно, но достаточно одного лишнего дефекта на детали, в этом месте металл выкрошится, и подшипник не будет работать. Поэтому можно даже не говорить о шероховатости, так как дефект оказывает большее влияние на эксплуатационные свойства подшипника. Потому что с плохой шероховатостью еще подшипник будет работать, а вот наличие дефекта выведет из работы подшипник, а в итоге, и прибор. А что сейчас значит вывести из работы прибор, это ни танк не двинется, ни самолет не полетит. Поэтому в войну в первую очередь бомбили подшипниковые заводы. Когда я увидел результаты оценки микрогеометрии колец оптико-электронным комплексом, было ясно, что первым делом нужно ликвидировать загрязнения СОЖ. Тогда мне была поставлена задача спроектировать установку. Модернизация установки по очистке масляной СОЖ была бы очень дорогостоящая, покупка центрифуг, и параметры экологии не удовлетворяют стандартам. Поэтому ставка была сделана на применение водной СОЖ. Водная СОЖ для данной работы была не случайно выбрана, данный состав СОЖ был рекомендован специализированным институтом, одни из самых грамотных специалистов давали рекомендации. Таким образом, была сделана специальная установка по очистке водной СОЖ, которая обеспечила эффективную очистку. И после этого ужасающий процент брака исчез. Поэтому я не согласен с Евгением Степановичем Киселевым относительно названия. Наверное, такой аспект возможен, как он сказал, его можно было не упустить и проанализировать, так как контроль является неизменной составляющей операции шлифования дорожек качения колец подшипников. Поэтому я считаю, что работа очень цельно изложена, очень интересна, сам оптико-электронный комплекс и методика, мне кажутся чрезвычайно интересными. Я много занимался профилограммами, и именно в этой работе увидел, что одной цифрой, при этом не какой-то средней, можно отобразить качество поверхности. И изображения поверхности, полученные оптико-электронным комплексом, конечно, являются очень наглядными: однородная поверхность или с дефектами. На профилограммах никогда такого не увидишь. Я считаю, что оптико-электронный комплекс и методика, которая получена по результатам большой проведенной работы, очень украшают диссертационную работу. Таким образом, я считаю, что работа интересная, актуальная, с точки зрения полезности однозначна, и содержит значимые элементы научной новизны. Я буду голосовать за, и призываю остальных членов совета голосовать за эту работу.

Председатель

Спасибо, Евгений Михайлович. Еще есть желающие? Бобровский Николай Михайлович, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Бобровский Н.М.

Методы контроля, которые заменили, называются органолептические. Замена органолептических методов контроля на инструментальные, это большой шаг вперед. Я тоже был на данном заводе, там, к сожалению, тяжелая ситуация. Евгений Степанович, в названии работы написано «на основе», повышение производительности не в результате контроля опико-электронным комплексом, а на основе. То есть все правильно, на основе контроля, про штучное время, я спорить не буду, из чего оно состоит. Мне, кажется, основные проблемы данной работы связаны с тем, что слишком много болевых точек реального производства она затронула. И если каждую из точек развернуть, то проблемы будут только множиться. Я бы охарактеризовал так, в данной работе достаточное количество технических решений, соответствующих уровню диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07. Я буду голосовать за и остальных призываю.

Председатель

Спасибо, Николай Михайлович. Борис Михайлович Горшков, пожалуйста.

Д.т.н., профессор Горшков Б.М.

Я скажу кратко о работе. Вы, конечно, коллеги знаете, что подшипники качения разделяются на классы 0, 6, и т.д. 0 класс – это подшипники для народного хозяйства, самые некачественные подшипники, самые качественные, это естественно 1 и 2 класса, которые используются в военной области. Но, что интересно, стоимость одного класса от другого отличается на порядок, т.е. если 0 класс стоит один доллар, то 1 класс стоит десять долларов. Хотя внешне он вроде бы такой же, но качество подшипника выше. Получается, качественно должна быть изготовлена дорожка качения кольца, должна быть качественная сборка, только тогда получится качественный подшипник. Поэтому результаты данной работы очень выигрышны. Таким образом, работа связана не только с повышением производительности, но и с повышением качества. Я буду голосовать за.

Председатель

Спасибо, Борис Михайлович. Так, ещё есть желающие? Ну, что тогда на этом заканчиваем, да? (да).

Я бы хотел только пару слов сказать в защиту нашего соискателя. Представленную сегодня нам работу мы слушали много раз на наших семинарах. И на счет названия было много вариантов, и не могли прийти к еди-

ному мнению. Вопросов много, так как работа на самом деле интересная. Основное достоинство этой работы, конечно большой практический выход. Значит, мы на этом с Вами заканчиваем. Так, переходим к голосованию. Есть предложение в состав счётной комиссии включить д.т.н. Клячкина Владимира Николаевича, д.т.н. Кирилина Юрия Васильевича и д.т.н. Булыжева Евгения Михайловича. Нет возражений? (нет). Так, тогда можно голосовать, прошу, кто за, прошу, кто против. Всё, хорошо. Значит, я прошу счётную комиссию приступить к работе и объявляю технический перерыв для голосования.

(Счетная комиссия организует тайное голосование)

#### Председатель

Так все сели, да? Значит, продолжаем работать. Так, слово предоставляется председателю счётной комиссии д.т.н. Булыжеву Евгению Михайловичу.

Д.т.н., доцент Булыжев Е.М.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек на период действия номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17.02. 2015 №123.

В состав диссертационного совета дополнительно введены 0 человек.

Присутствовало на заседании 15 членов совета, в том числе докторов наук по профилю диссертации – 9 человек.

Роздано бюллетеней – 15.

Оказалось не розданных бюллетеней – 5.

Оказалось в урне бюллетеней – 15.

Результаты голосования по вопросу присуждения учёной степени кандидата технических наук Родионовой Ольги Владимировны:

за – 15;

против – нет;

недействительных бюллетеней – нет.

Председатель счетной комиссии Булыжев Евгений Михайлович, члены комиссии: Клячкин Владимир Николаевич, Кирилин Юрий Васильевич

#### Председатель

Таким образом, на основании результатов тайного голосования за – 15, против – нет, недействительных – нет, объединённый диссертационный совет при Ульяновском государственном техническом университете и Тольяттинском государственном университете признает: диссертация Родионовой содержит решение задачи повышения производительности процесса и обеспечения требуемых микрогеометрических параметров механически обработан-

ных поверхностей при бездефектном шлифовании дорожек качения внутренних колец приборных подшипников, имеющей существенное значение для развития технологии механической обработки, соответствует требованиям раздела 2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и присуждает Родионовой Ольге Владимировне ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель

Ольга Владимировна, разрешите Вас поздравить. Заключительное слово предоставляется соискателю. Пожалуйста, Ольга Владимировна.

Соискатель

Я хочу выразить большую благодарность и уважение членам диссертационного совета за то, что уделили внимание моей работе, за сделанные замечания и пожелания, так же хочу выразить большую признательность совету за проведенную совместную работу над диссертацией, моим официальным оппонентам, Зверовщикову Владимиру Зиновьевичу и Полянчикову Юрию Николаевичу, проводшим большую работу, и выразить, конечно, большую благодарность своему научному руководителю Носову Николаю Васильевичу, который вел со мной данную работу с магистратуры. Большое спасибо.

Председатель

И последний наш этап. У Вас у каждого есть заключение по диссертации Родионовой О.В. Есть предложение принять его за основу. Если нет возражений, принимаем за основу. И пожалуйста, замечания, предложения по заключению.

*(обсуждение проекта)*

Председатель

Если замечаний нет, тогда есть предложение принять заключение в целом с учётом тех замечаний, которые устранили.

Прошу проголосовать.

Кто «за»? (Все)

Кто «против»? (Нет)

Кто воздержался? (Нет)

Принимается единогласно.

*(Заключение диссертационного совета объявляется соискателю)*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д999.003.02 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 09.11.2017 г. № 32

О присуждении Родионовой Ольге Владимировне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение производительности операции шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения» по специальности 05.02.07 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» принята к защите 01.09.2017 г., протокол № 29, объединенным диссертационным советом Д 999.003.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Минобрнауки РФ по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующего на основе приказа № 123/нк от 17.02.2015 г.

Соискатель Родионова Ольга Владимировна, 1988 года рождения.

В 2012 г. соискатель окончила ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». В 2016 г. соискатель окончила аспирантуру на базе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Работает инженером-конструктором в конструкторско-технологическом отделе ЗАО «Завод аэродромного оборудования».

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» на кафедре «Технология машиностроения», Министерство образования и науки РФ.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор Носов Николай Васильевич, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

**Официальные оппоненты:**

Зверовщиков Владимир Зиновьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»;

Полянчиков Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

**Ведущая организация** – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский

национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара Самарской области, в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Технологии производства двигателей» Хаймовичем А.И. и доктором технических наук, профессором кафедры «Технологии производства двигателей» Скуратовым Д.Л., и утвержденном первым проректором – проректором по науке и инновациям, доктором технических наук, профессором Прокофьевым А.Б. указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, имеющей значение для повышения производительности и точности при изготовлении колец приборных подшипников за счет разработки моделей, методик и алгоритмов для определения оптимальных режимов и условий операции шлифования. Работа выполнена на достаточно высоком научно-теоретическом уровне, методы и средства теоретических и экспериментальных исследований современны и адекватны решаемым задачам. Новые научные и прикладные результаты, полученные соискателем в диссертационной работе, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов. Диссертационная работа «Повышение производительности операции шлифования на жестких опорах колец приборных подшипников на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения» по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Соискатель имеет 14 научных статей по теме диссертации (общий объем публикаций составляет 6,58 печатного листа, из них авторских – 4,76 п.л.), в том числе 3 работы, опубликованных в ведущих рецензируемых научных изданиях (общий объем публикаций составляет 1,62 печатного листа, из них авторских – 0,96 п.л.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Носов Н. В. Исследование процесса шлифования дорожки качения приборных подшипников (часть 1) / Н.В. Носов, Р.Г. Гришин, В.А. Родионов, А.А. Широин, О.В. Родионова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Изд - во Самарского научного центра РАН. – Т.13. – № 4 (3). – 2011. – С. 1161 – 1164.

2. Родионов В.А. Исследование шероховатости дорожки качения приборного подшипника / В.А. Родионов, О.В. Родионова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Изд - во Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т.18. – № 4 (2) – С. 373 – 377.

3. Родионова О.В. Оптимизация процесса профильного шлифования кольца подшипника / О.В. Родионова // Известия Самарского научного цен-

тра Российской академии наук. – Самара: Изд - во Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т.18. – № 4 (2). – С. 378 – 382.

4. Родионова О.В. Моделирование процесса шлифования дорожки качения кольца подшипника на жестких опорах / О.В. Родионова // Современные компьютерные технологии фирмы «Delcam» в науке, образовании и производстве. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2013. – С. 96 – 100.

5. Родионова О.В. Исследование шероховатости поверхности сопряжения подшипника / О.В.Родионова // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2015. – С. 26 – 30.

На диссертацию и автореферат диссертации поступили положительные отзывы с замечаниями: **ведущей организации** – ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», подписанном доктором технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Технологии производства двигателей» Хаймовичем А.И. и доктором технических наук, профессором кафедры «Технологии производства двигателей» Скуратовым Д.Л., и утвержденном первым проректором – проректором по науке и инновациям, доктором технических наук, профессором Прокофьевым А.Б. Замечания: 1. Предложенная методика исследования микрогеометрии обработанной поверхности носит оценочный характер и требует дальнейшего совершенствования. 2. Автор работы не исследовал такие параметры качества поверхностного слоя как микротвердость, остаточные напряжения и структурно-фазовое состояние, которые во многом определяют надежность и долговечность изделия. 3. В математической модели для определения оптимальных условий шлифования дорожек качения колец подшипников отсутствуют ограничения, связанные с техническими возможностями станка. Отзывы **первого официального оппонента д.т.н., профессора Полянчикова Ю.Н.** Отзыв положительный. Замечания: 1. На рис. 5 автореферата (он же 4.9 на с. 87 текста диссертации) графические зависимости доказывают положительное влияние водоземлюльсионной СОЖ по сравнению с масляной на уменьшение отклонения от профиля дорожки качения при шлифовании. Однако графики на рис.6 автореферата (он же рис 4.10 на с .89 текста диссертации) доказывают, что положительно влияет на уменьшение высоты микронеровностей поверхности дорожки качения масляная СОЖ, особенно за период между правками шлифовального круга, начиная с трех минут и более, в то время как водная СОЖ в аналогичных условиях никакого влияния не оказывает. Почему в выводах по работе отмечено положительное влияние водных СОЖ? 2. На рис. 7 автореферата представлены четыре графика, характеризующие отклонения от круглости ( $\Delta_K$ ) дорожек качения в зависимости от подачи ( $S$ , мм/мин). В пояснениях к рис. 7 показано, что должно быть пять графиков. Кроме того, на все графики приведены только четыре экспериментальные точки. 3. На представленных рис. 8, 9 автореферата (те же 5.2 и 5.3 с. 103 текста диссертации) моделях оптимизации режимов шлифования с масляной и водной СОЖ не выделен многоугольник решений, внутри которого любая точка удовлетворяет всем неравенствам, соответст-

вующим приведенным ограничениям, в результате чего трудно определить оптимальные условия проведения процесса обработки. 4. В выводах, приведенных автором в главе 1 на с. 22, показано, что оптимальная наладка углов жестких опор при шлифовании позволяет уменьшить погрешность базирования, хотя об оптимальности решения этой задачи ничего не сказано. 5. В главе 1 на с. 24 приведены оптимальные характеристики шлифовальных кругов для обработки подшипниковых сталеи, среди которых упоминается пористость, хотя она не является характеристикой абразивного инструмента. Для этого существует иная характеристика – структура круга. 6. Не понятно, почему модуль упругости шарикоподшипниковой стали равен  $2,11 \cdot 10^5$  МПа, а не  $2,11 \cdot 10^5$  МПа (так отмечено в тексте и в автореферате) – в тексте с. 40. 7. При расчете силы резания  $P_z$  используется формула (2.4 с. 42), но зависимость эта взята из литературных источников или выведена автором – не ясно, т.к. ссылок на это нет. 8. В числе параметров автокорреляционной функции автор приводит среднеквадратическое отклонение. Этот параметр носит название «стандартное отклонение» (ГОСТ Р 5077921-2004). 9. В разделе 5.2 «Расчет оптимальных режимов шлифования» зависимости, отражающие в математической форме ограничения, не имеют нумерации. **Отзыв второго официального оппонента д.т.н., профессора Зверовщикова В.З.** Отзыв положительный. Замечания: 1. В работе мало внимания уделено качеству правки шлифовального круга, хотя сам автор в третьей главе диссертации (с. 72) и автореферате (с. 11) отмечает, что наиболее значимыми факторами, влияющими на образование дефектов являются качество очистки СОЖ и врезная подача при правке шлифовального круга, а также вид СОЖ и врезная черновая подача при шлифовании. 2. Не приведено обоснование выбора состава СОЖ на водной основе, которая предложена взамен масляной СОЖ, используемой на производстве, хотя вязкость СОЖ и поверхностная активность ее компонентов оказывают существенное влияние на физико-химические процессы в зоне резания и формирование качественных параметров шлифованной поверхности. 3. Не понятен вклад автора в разработку оптоэлектронного комплекса и программного обеспечения к нему (см. с. 4 автореферата), хотя в тексте диссертации (с. 54, 55, 59 и 62), что они разработаны другими авторами. 4. Имеются отдельные неточности редакционного и стилистического характера в тексте диссертации (см. с. 6, 7, 14, 15, 17, 22, 23, 25, 39, 51, 64, 77, 78, 117, 119, 125). На автореферат диссертации поступили 9 положительных отзывов с замечаниями из: **ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»**, подписанный кандидатом технических наук, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Технология машиностроения» Некрасовым Р.Ю., доктором технических наук, профессором кафедры «Станки и инструменты» Утешевым М.Х. Замечания отсутствуют. **ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Поповым А.Ю. Замечания отсутствуют. **Отзыв ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»**, подписанный доктором технических наук, профессором кафедр-

ры «Технология машиностроения» Лобановым Д.В., кандидатом технических наук, профессором кафедры «Колесные и гусеничные машины» Гартфельдером В.А. Замечания: 1. Из автореферата не ясно, какие абразивные инструменты (состав, форма, маркировка и т.д.) использовались в исследовании и как эти параметры использовались при моделировании, так как они оказывают значительное влияние на формирование качества поверхности. 2. Качество обработки оценивалось лишь по величине микронеровностей, хотя на эксплуатационные характеристики изделия влияют также микротвердость и состояние поверхностного слоя обработанной поверхности. 3. В автореферате отсутствует обоснование выбора только лишь двух видов СОЖ, представленных двумя составами, при известной широкой номенклатуре смазывающе-охлаждающих технологических сред. 4. Не ясно, как достигнуто заявленное в названии работы «Повышение производительности операции шлифования на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения», в общих выводах по работе оценено только повышение производительности от применения СОЖ. **ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Маликовым А.А. Замечания: 1. Из автореферата не ясны параметры (либо диапазоны изменения параметров) сеток конечно-элементных моделей (в частности, представленной на рис. 1), используемых автором в своих исследованиях (стр. 7). 2. Из автореферата не ясно, каким образом обеспечиваются метрологические характеристики оптико-электронной системы измерения, описанной на стр. 8-10. **ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технологии и автоматизации машиностроения» Бурдо Г.Б. Замечания: 1. На стр. 8 и 13 автор подчеркивает, что отклонение от круглости кольца определяется его упругими деформациями, отклонениями от круглости базовой поверхности кольца подшипника и погрешностью базирования кольца подшипника. Но для отклонения от круглости дорожек качения погрешность базирования при данной схеме установки учитывать не следует, т.к. способ базирования не влияет на формирование указанной погрешности. 2. Есть и некоторые неточности. Рис. 7 назван «Зависимость величины деформации кольца в процессе шлифования и отклонения от круглости дорожек качения от врезной подачи и угла». Однако зависимостей для отклонения от круглости на рисунке не приведено. **ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»**, подписанный доктором технических наук, профессором кафедры «Технология машиностроения» Давиденко О.Ю. Замечания: 1. К сожалению, из автореферата не ясно как осуществлялись эксперименты, не представлена методика проведения экспериментальных исследований и обработки опытных данных, отсутствует информация о контрольно-измерительных приборах. 2. Работа была бы более информативной, если бы автор на основе экспериментальных данных разработал эмпирические математические модели исследуемых процессов. 3. В автореферате не достаточно четко сформулированы положения,

позволяющие оценить возможности оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожки качения для повышения производительности ее шлифования. 4. Список публикаций автора составлен не совсем корректно. **ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Козловым А.М. Замечания: 1. На с. 8 автореферата указывается, что при исследовании менялся только угол  $\alpha$ , в то время как другими исследователями (Муцянко В.И., Братчиков А.Я., Козлов А.М.) установлено, что на отклонение от круглости при бесцентровом шлифовании значительное влияние оказывает совокупное значение углов между жесткими опорами и точкой контакта режущего инструмента. 2. Из материалов автореферата не ясно, сколько времени занимает измерение шероховатости шлифованной поверхности оптико-электронной системой и почему с уменьшением шероховатости микрорельеф меняется с однонаправленного до стохастического. 3. В автореферате имеются неудачные выражения (с. 6 «Изучен теоретический анализ...»), опечатки (с. 7 «условия вырыва кольца...»), рис. 1а практически не читается. **ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтерева»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Житниковым Ю.З., ученым секретарем совета «Ковровской государственной технологической академии», доцентом, кандидатом технических наук Разумовской О.В. Замечания: 1. В реферате не сказано как обосновывались и выбирались варианты моделей для разработки компьютерных программ. 2. Во второй главе автор предполагает, что отклонение от круглости кольца подшипника при шлифовании на жестких опорах формируется под действием: упругих деформаций кольца в процессе шлифования, отклонения от круглости базовой поверхности кольца подшипника при установке и погрешности базирования кольца подшипника при установке на жесткие опоры. Возникает вопрос, а не зависит ли отклонение от точности геометрических размеров шлифовального круга. **ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, подписанный доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология и оборудования машиностроительных производств» Пашковым А.Е., кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технология и оборудования машиностроительных производств» Солер Я.И. Замечания: 1. Учитывая важность КЭ моделирования, в автореферате хотелось бы иметь больше информации об исходных данных. Занимаясь такой проблемой, столкнулись с тем, что в литературе отсутствуют зависимости по силам резания. 2. В зависимости (6) коэффициент  $K_5=1,3$  для водной СОЖ стоит в знаменателе и не может характеризовать повышение производительности. 3. Для таблицы 1, учитывая недостаточную осведомленность технологов в терминологии очистки СОЖ желательным было привести пояснения к критериям и примечаниям. 4. На рис. 8 и 9 не представлена ОДР для решения задачи оптимизации, не хватает ограничения по минимальной скорости шлифования, зависящей от технических характеристик станка и условий безприжогового

шлифования, а линии Аср имеют противоположное по логике шлифования направления к оптимуму. 5. В автореферате рис.3 не конкретизировано характерна ли такая бинарная картина для других схем шлифования и различных характеристик инструмента.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области технологии машиностроения, имеют научные публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В качестве ведущей организации выбран ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», так как в этом вузе выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны** конечно-элементная модель процесса деформации колец подшипников при шлифовании на жестких опорах и образования отклонения от круглости дорожек качения; методика оценки микрогеометрии и дефектов поверхности при шлифовании дорожек качения колец подшипников на жестких опорах с использованием оптико-электронного комплекса;

**предложены** основные пути повышения производительности обработки, обеспечения точности и качества поверхности дорожек качения внутренних колец приборных подшипников при шлифовании на жестких опорах;

**доказана** целесообразность использования в производственной практике на операции шлифования оптико-электронного комплекса для исследования микрогеометрии и дефектов поверхности дорожек качения колец прецизионных подшипников и перспективность технологических рекомендаций при шлифовании колец подшипников на жестких опорах;

новые понятия не **вводились**.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что

**доказано**, что в процессе профильного шлифования внутренних колец приборных подшипников на жестких опорах возникают упругие деформации, которые влияют на образование отклонения от круглости дорожек качения;

применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** метод конечных элементов (МКЭ) для расчета напряженно-деформированного состояния поверхности кольца и методика оценки микрогеометрии и дефектов поверхности при шлифовании дорожек качения колец подшипников на жестких опорах с использованием оптико-электронного комплекса;

**изложены** положения математического моделирования с использованием численных методов, классической теории корреляционного анализа и обоснование выбора ограничений при моделировании процесса шлифования;

**раскрыты** особенности влияния режимов и условий шлифования на производительность процесса, геометрические параметры дорожек качения подшипников и на образование дефектов;

**изучены** методы повышения производительности и оценки микрогеометрии поверхности дорожек качения колец подшипников;

**проведена модернизация** наладки положения жестких опор станка, направленная на снижение отклонения от круглости дорожек качения колец подшипников в процессе шлифования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработана** методика для определения микрогеометрии и дефектов поверхности дорожек качения колец подшипников, полученных при шлифовании и **внедрен** оптико-электронный комплекс на предприятии ООО «Завод приборных подшипников» (г. Самара) с общим экономическим эффектом 216180 руб;

**определены** направления, пути решения и задачи совершенствования процесса шлифования дорожек качения колец приборных подшипников на жестких опорах;

**создана** методика использования оптико-электронной базы и программного обеспечения для исследования микрогеометрии и дефектов поверхности при шлифовании дорожек качения колец приборных подшипников на жестких опорах;

**представлены** рекомендации по совершенствованию процесса шлифования колец приборных подшипников на жестких опорах, на основе оптико-электронного контроля микрогеометрических параметров дорожек качения с целью увеличения производительности процесса.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использовались современные измерительные средства центральной заводской лаборатории ООО «Завод приборных подшипников» (г. Самара), входящие в государственный реестр измерительных средств. Для обработки параметров микрогеометрии использовались методы цифровой обработки сигналов и современное программное обеспечение;

**теория** построена на проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуется с ними, достоверность и обоснованность научных выводов, положений и полученных результатов базируется на основных положениях теории резания, технологии машиностроения, математического моделирования с использованием численно-аналитических методов, теории измерений и корреляционного анализа, теории вероятностей и математической статистики, методах цифровой обработки сигналов;

**идея базируется** на использовании и обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых в области процесса шлифования колец подшипников на жестких опорах и математическом моделировании;

**использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации, сравнение авторских данных с данными, применяемыми в производственной практике и исследованиях в указанной области,

**установлено** совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в источниках независимой периодической и справочной печати, по тематике исследования.

