

**Ульяновский государственный технический университет**

*Стенографический отчет*

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.003.02**

**Повестка дня**

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Мухиной Елены Вячеславовны  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ  
НАУК**

**«Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке»**

Специальность:

**05.02.08 –Технология машиностроения**

**Официальные оппоненты:**

**Семенов Александр Николаевич** – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева», кафедра «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения», профессор;

**Шандров Борис Васильевич** – канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», кафедра «Технологии и оборудование машиностроения», профессор.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза.

Ульяновск – 2020

## ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02

25 декабря 2020 г.

На заседании присутствовали 16 членов Совета, из них 7 очно,  
9 дистанционно, в том числе 6 докторов наук по специальности 05.02.08

1.	Табаков В.П.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07 – технические науки Очный режим
2.	Бобровский Н.М.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08 – технические науки Дистанционный режим
3.	Булыжев Е.М.	д-р техн. наук, доцент	05.02.08 – технические науки Очный режим
4.	Веткасов Н.И.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07 – технические науки Очный режим
5.	Денисенко А.Ф.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07 – технические науки Дистанционный режим
6.	Драчёв О.И.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07 – технические науки Дистанционный режим
7.	Захаров О.В.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07 – технические науки Дистанционный режим
8.	Зибров П.Ф.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08 – технические науки Дистанционный режим
9.	Епифанов В.В.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07 – технические науки Очный режим
10.	Клячкин В.Н.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07 – технические науки Очный режим
11.	Ковальногов В.Н.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07 – технические науки Очный режим
12.	Лобанов Д.В.	д-р техн. наук, доцент	05.02.08 – технические науки Дистанционный режим
13.	Носов Н.В.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08 – технические науки Дистанционный режим
14.	Унянин А.Н.	д-р техн. наук, доцент	05.02.07 – технические науки Очный режим
15.	Худобин Л.В.	д-р техн. наук, профессор	05.02.08 – технические науки Дистанционный режим
16.	Янюшкин А.С.	д-р техн. наук, профессор	05.02.07 – технические науки Дистанционный режим

Председатель диссертационного совета

д-р техн. наук, профессор

В.П. Табаков

Ученый секретарь диссертационного совета

д-р техн. наук, доцент



Н.И. Веткасов

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Уважаемые коллеги! Начинаем наше заседание. Зарегистрируем всех присутствующих членов диссертационного совета. В очном режиме работают 7 членов Совета – д-р техн. наук Табаков В.П., д-р техн. наук Веткасов Н.И., д-р техн. наук Булыжев Е.В., д-р техн. наук Клячкин В.Н., д-р техн. наук Ковальногов В.Н., д-р техн. наук Унянин А.Н., д-р техн. наук Епифанов В.В., в дистанционном режиме – д-р техн. наук Худобин Л.В., д-р техн. наук Зибров П.Ф., д-р техн. наук Драчев О.И., д-р техн. наук Бобровский Н.М., д-р техн. наук Лобанов Д.В., д-р техн. наук Денисенко А.Ф., д-р техн. наук Захаров О.В., д-р техн. наук Янюшкин А.С., д-р техн. наук Носов Н.В. Всего в удаленном интерактивном режиме работают 9 членов Совета, что не превышает 2/3 членов Совета, присутствующих на заседании Совета и соответствует требованиям, предъявляемым к работе советов в удаленном интерактивном режиме. Заявления от членов Совета на участие в дистанционном режиме своевременно получены. Всего присутствующих 16 членов Совета, таким образом, необходимый кворум имеется.

По специальности защищаемой диссертации 05.02.08 – Технология машиностроения (технические науки) на заседании присутствуют 6 докторов наук. Таким образом, наше заседание правомочно.

Теперь по повестке дня. Членам совета повестка дня известна, какие будут предложения, замечания по повестке дня. Утвердить? Голосуем. Принято единогласно.

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Мухиной Елены Вячеславовны «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке» по специальности 05.02.08. – Технология машиностроения.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения»

в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор, Королев Андрей Альбертович, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра «Технология и системы управления в машиностроении», профессор.

Официальные оппоненты:

– Семёнов Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет»;

– Шандров Борис Васильевич, канд. техн. наук, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет».

Оппоненты участвуют в работе совета в дистанционном режиме, заявления от них по работе в удаленном интерактивном режиме своевременно получены. Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были также своевременно получены.

Ведущая организация - ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет». Есть какие-то вопросы по повестке дня? Возражений нет! Предлагаю проголосовать. Кто за? Кто против? Кто воздержался? Прошу поднять руки. Как я вижу, все проголосовали единогласно.

Слово предоставляется ученому секретарю диссертационного совета Веткасову Николаю Ивановичу для оглашения личного дела соискателя.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемые коллеги! В деле соискателя имеются следующие документы, представленные к защите: личная карточка работника, из которой следует, что Мухина Елена Вячеславовна, 1992 года рождения, в 2014 году окончила ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени

Гагарина Ю.А.» по специальности «Технология машиностроения». В этом же году поступила и в 2018 году соискатель окончила аспирантуру по специальности 05.02.08. – «Технология машиностроения» при ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

В настоящее время работает ассистентом кафедры «Технология и системы управления в машиностроении» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Имеется заключение ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», принятое на расширенном заседании кафедры «Технология машиностроения», в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, степень научной ценности и, как итог, дается рекомендация о том, что данная работа может быть представлена к защите по специальности 05.02.08 - Технология машиностроения. Имеется нотариально заверенная копия диплома об окончании ФГБОУ ВО «Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.». Имеется удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов со следующими оценками: иностранный язык – «отлично», история и философия науки – «отлично» и специальная дисциплина – «отлично».

Имеется список публикаций, включающий 24 наименования, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень 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: Булыжев Е.М., Ковальногов В.Н. и Худобин Л.В., о возможности защиты диссертации в диссертационном совете и соответствии с требованиями ВАК по изложению материалов в автореферате в соответствии с данной специальностью 05.02.08. Имеются: отзыв научного руководителя; протокол

заседания диссертационного совета о приеме диссертации к защите. Имеется список рассылки автореферата, включающий в себя 77 адресов, по которым были направлены авторефераты. Содержатся также сведения о ведущей организации, официальных оппонентах, отзывы организации, в которой выполнена диссертация, ведущей организации и официальных оппонентов. Кроме того, представлены отзывы, пришедшие на автореферат. Все необходимые документы были опубликованы на сайте университета и в сети Интернет, соответствуют требованиям процедуры заседания и рассмотрения диссертации.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Вопросы есть к Николаю Ивановичу? К соискателю? Вопросов к соискателю и ученому секретарю нет! Тогда Вам, Елена Вячеславовна, предоставляется слово для доклада основных положений Вашей работы, время для доклада 20 минут. Ну а всем членам совета, работающим дистанционно, я напоминаю, Вам своевременно были высланы презентации. Так, пожалуйста!

Соискатель Мухина Елена Вячеславовна

Большое спасибо за предоставленное слово! Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета! Тема моей работы «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке». В настоящая время выбор подшипников осуществляется по расчёту статической и динамической грузоподъемности. Но, к сожалению, известные зависимости для расчета статической и динамической грузоподъемности не совершенны. Все данные имеют статистические значения. Подшипники выбираются по расчёту эквивалентной нагрузки, но не учитывается неравномерность распределения нагрузки на тела качения. Поэтому предлагается расчёт статической грузоподъемности, при которой учитывается, что все шарики нагружены неравномерно, и предлагаем применять специальные подшипники с оптимальным углом контакта, при котором обеспечивается максимальная статическая грузоподъемность. Расчет

позволяет определить разброс рациональных значений геометрических параметров, разброс значений статической грузоподъемности при этих геометрических параметрах, а также решается вопрос с понижением трудоемкости при комплектовании. Объектом исследования является опорный подшипник, используемый в передней стойке автомобиля. Данные подшипники изготавливаются с углом контакта 90 градусов. Но они работают в условиях комбинированной нагрузки, так как осевая нагрузка падает фактически под углом контакта 7,5 градуса. Часть тел качения остаются незагруженными, другая часть загружена больше. Поэтому оси верхнего и нижнего колец сдвигаются друг относительно друга. Возникают вибрации и подшипник выходит из работоспособного состояния раньше срока его службы.

Помимо этого, данный подшипник работает в условиях ударных нагрузок и в условиях качания. Поэтому он не должен рассчитываться по критерию динамической грузоподъемности. Данные подшипники должны быть стойкими к ударам и иметь повышенную статическую грузоподъемность. К сожалению, существующая технология комплектования не учитывает особенности режима работы этих подшипников. Поэтому тема работы, посвящённая повышению статической грузоподъемности упорно-радиальных подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования, является актуальной. На слайде представлен узел передней подвески, где установлен данный опорный подшипник. В связи с этим ставлю перед собой цель и задачи исследований. Целью является повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных подшипников передней стойки автомобилей на основе совершенствования технологии комплектования подшипников в процессе сборки. Задачи: 1. Разработать математическую и компьютерную модели влияния угла контакта тел и дорожек качения на статическую грузоподъемность в однорядном упорно-радиальном шариковом подшипнике, с целью выявления рационального диапазона значений

комплектовочных параметров для обеспечения повышенной статической грузоподъемности; 2. Выполнить экспериментальные исследования и выявить зависимости статической грузоподъемности и момента сопротивления вращения от угла контакта тел и дорожек качения и комплектовочных параметров, позволяющие определить технологические факторы, обеспечивающие комплектование подшипника с рациональным диапазоном угла контакта и повышенную статическую грузоподъемность подшипника. 3. Разработать алгоритм и технологию комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности, обеспечивающую повышенное значение статической грузоподъемности; 4. Разработать рабочую инструкцию по обеспечению в процессе комплектования подшипника 1118-2902840 рационального угла контакта, обеспечивающего его повышенную грузоподъемность. 5. Спроектировать схему сборочной автоматической линии, основанную на технологии комплектования, обеспечивающей повышенную статическую грузоподъемность.

Научная новизна диссертации: 1. Разработаны математическая и компьютерная модели влияния угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров на статическую грузоподъемность в однорядном упорно-радиальном шариковом подшипнике; 2. Получены экспериментальные зависимости статической грузоподъемности и момента сопротивления вращению подшипника от угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров, которые позволили определить рациональный диапазон значений угла контакта тел и дорожек качения, при котором обеспечивается повышенная статическая грузоподъемность подшипника; 3. Разработана технология комплектования упорно-радиальных подшипников передней стойки автомобилей по критерию статической грузоподъемности, основанная на определении оптимального и допустимых углов контакта тел и дорожек качения, обеспечивающая повышенную статическую грузоподъемность.

Была разработана расчётная схема, относительно которой выполнялось математическое моделирование. На слайде представлен упорно- радиальный подшипник. На него действует распределенная нагрузка под углом  $\alpha$ . Эта нагрузка определяется на каждое тело качения. Каждое тело качения воспринимает определенную нагрузку  $p$ . Данную нагрузку можно разложить на осевую и радиальную составляющие. Если осевая составляющая нагрузки для всех тел качения одинаковая, то радиальная составляющая нагрузки для каждого тела качения различна. И существует такое тело качения, которое воспринимает наибольшую нагрузку, и по нему будет выполняться основной расчет. Для выполнения математического моделирования были обоснованы следующие допущения: 1. Деформация колец под действием внешней нагрузки пренебрежимо мала по сравнению с локальной деформацией тел и дорожек качения. 2. Осевая нагрузка на подшипник превышает радиальную нагрузку, так что оси верхнего и нижнего колец совпадают. 3. Угол контакта тел и дорожки качения в подшипнике пренебрежимо мало зависит от деформации тел и дорожки качения. 4. Максимальная нагрузка на шарики определяется по методике Королева А.В. и Королева А.А. По этой формуле можно находить максимальную нагрузку на шарик. У этого расчета есть свои недостатки. Во-первых, значение получается дискретные. А во-вторых нет прямой зависимости максимальной нагрузки от угла контакта. Это мы ставим своей целью изучить. Для этого были выполнены преобразования, было выведено определение оптимального угла контакта, при котором значение статической грузоподъемности является максимальным. С другой стороны, контактные напряжения в подшипнике определяется по формуле Герца. Она также учитывает максимальную нагрузку. Статическая грузоподъемность – это нагрузка при которой возникают остаточные деформации, возникают вмятины на дорожках качения. Отталкиваясь от этого понятия, в формуле подставляем значение твердости взамен максимальной нагрузки. Преобразовав формулу, получаем выражение определения эквивалентной нагрузки на подшипник при условии действия комбинированной нагрузки. На

основании математической модели была построена компьютерная модель, которая позволяет определять разброс рациональных значений геометрических параметров, при которых обеспечивается рациональный диапазон угла контакта. Определяется фактический разброс статической грузоподъемности при данных геометрических параметрах, определяется оптимальный угол контакта и эквивалентная нагрузка. На слайде представлены теоретические зависимости статической грузоподъемности от угла контакта при различных соотношениях радиальной и осевой составляющей нагрузки. По графику видно, что зависимость эта носит экстремальный характер и существует такой оптимальный угол контакта, при котором нагрузка максимальна. Также представлена зависимость угла контакта от отношения составляющих внешней нагрузки. На следующем слайде представлена теоретическая зависимость угла контакта от разности диаметров дорожек качения, также учитывающая отношения радиусов дорожек и тел качения. Представлена зависимость статической грузоподъемности от отношений радиуса профиля тел и дорожек качения. Для подтверждения теоретической модели были проведены экспериментальные исследования. Для этого была изготовлена партия из 25 штук упорно-радиальных подшипников, которые поделили на пять групп. Различие заключалось в разных значениях разниц диаметров дорожек качения верхнего и нижнего колец. Были посчитаны угол контакта у всех пяти групп подшипников. Была разработана методика по определению угла контакта. Подшипники разбирались, на кольца наносился тонкий слой сажи. Подшипники собирали, и придавали им нагрузку, равную 100 Н. Подшипники разбирались, а при помощи микроскопа и контрольно-измерительной машины снимали значение диаметров дорожек качения, определяли их разность, и по формуле определяли фактический угол контакта. Было разработано устройство для определения статической грузоподъемности при испытаниях, которое представлено на слайде. Был проведён также контроль момента сопротивления вращению во время испытания на

статическую грузоподъемность. Результаты эксперимента записаны в таблице, представлены на слайдах. Контролировали также радиальное смещение верхнего и нижнего колец, которое является также важным показателем при комплектовании. Эксперимент проводился комплектом из шести шариков. После производили перерасчёт на полный комплект тел качения, который используется в данном подшипнике. Результат эксперимента представляет собой зависимость критической нагрузки от угла контакта. На графике мы видим теоретическую зависимость и фактический разброс значений. Данная зависимость доказывает, что она носит экстремальный характер и существует такой оптимальный угол контакта, при котором достигается максимальная статическая грузоподъемность подшипника. Представлена зависимость угла контакта от разности диаметров дорожек качения. Данная зависимость объясняется с геометрической точки зрения, что с увеличением разницы диаметров дорожек качения фактический угол контакта будет уменьшаться. Влияние угла контакта на радиальное смещение колец показывает, что для 2, 3 и 4 групп подшипников радиальное смещение изменяется незначительно. Если говорить о 1-ой и 5-ой группе, то видны значительные отклонения - радиальное смещение намного больше. Также анализировалось среднее квадратическое отклонение угла контакта и критической нагрузки. На рисунке 11 видно, что при угле контакта, равным  $60^\circ$ , разброс критической нагрузки самый минимальный. Оба графика доказывают, что существует такое значение угла контакта, при котором разброс нагрузки минимален. Так как эксперимент проведён при комплекте из 6 шариков, был произведен перерасчет для статической грузоподъемности при полном комплекте шариков. К подшипнику имеется техническое требование, что момент сопротивления вращению не должен превышать  $0,8 \text{ Н/м}$ . И контроль момента сопротивления вращению показал, при каких значениях угла контакта момент сопротивления вращению наименьший. При  $70$ ,  $60$  и  $50^\circ$  значение момента сопротивления вращению не превышает требуемое. На основании

теоретических и экспериментальных данных был разработан алгоритм и технология комплектования упорно- радиальных шариковых подшипников по критерию статической грузоподъемности. Он состоял в том, что изначально обосновываются исходные данные, определяются допустимые значения угла контакта, рассчитывается оптимальный угол контакта, и, в зависимости от того, какую статическую грузоподъемность мы должны обеспечить, по функции минимально допустимой статической грузоподъемности подшипника рассчитываем рациональный диапазон угла контакта, при котором обеспечивается работоспособное состояние подшипника. Определяются допуски на разность дорожек качения, определяется количество групп, на которое нужно разделить кольца подшипников. По расчетам получилось, что достаточно 1 группы, так как подшипник 8 степени точности и нет необходимости точно обеспечивать угол контакта в жестком диапазоне. Угол контакта должен находиться в диапазоне от  $55^\circ$  до  $65^\circ$  и обеспечивается повышенная статическая грузоподъемность подшипника. Разработана схема автоматической сборочной линии. Представлена на слайде. Разработана рабочая инструкция по обеспечению рационального угла контакта в подшипнике. Здесь описаны исходные данные для расчёта, а также перечень контролируемых параметров: разность диаметров дорожек качения, соотношение между радиусом профиля дорожек качения и диаметром шарика, номинальный угол контакта  $\beta_0$ .

При крайних значениях указанного угла контакта нагрузка на шарики увеличивается не более, чем на 7%. Более значительные колебания угла контакта приводят к более значительному увеличению нагрузки на шарики, что не допустимо, так как снижает его работоспособность. Был проведен расчёт экономического эффекта от внедрения данной технологии. Он выполнялся по критерию качества данного подшипника. Вместе с предприятием ООО «Рефмашпром» для расчёта был увеличен объем выпуска подшипников на 10000 шт., а себестоимость подшипников осталась та же, но цена возросла, так как качество подшипников выше. В связи с этим

получили объем прибыли в размере 2360000 рублей. Данная технология была внедрена на двух предприятиях: ООО «Рефмашпром» и НПП НИМ СГТУ. Были проведены два вида испытаний: ресурсные стендовые и испытания на статическую грузоподъемность. Стендовые испытания выполнялись на ООО «Рефмашпром». Два подшипника, выполненные по рекомендациям, выдержали 2250000 циклов работы. Испытаниям на статическую грузоподъемность подвергались две партии по 6 подшипников с углом контакта  $90^\circ$  и  $62^\circ$ . Данные испытания показали, что подшипники, выполненные по предлагаемой технологии с испытанием справились лучше – средняя статическая грузоподъемность составляла 12400 Н. С углом контакта  $90^\circ$  средняя статическая грузоподъемность составляла 7200Н. В заключении могу сказать, что: получена математическая и компьютерная модели формирования статической грузоподъемности упорно-радиального шарикоподшипника, работающего при комбинированной внешней нагрузке, в процессе комплектования при сборке. Подтверждены теоретические выводы о существовании оптимального угла контакта тел и дорожек качения в подшипнике и доказано экстремальная зависимость статической грузоподъемности и момента сопротивления вращению от угла контакта; Разработана технология комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности, в основе которой предложен новый способ комплектования подшипников; предложено новое устройство для определения статической грузоподъемности упорно-радиальных шарикоподшипников, находящихся под комбинированной внешней нагрузкой; Разработана «Рабочая инструкция по формированию в процессе комплектования подшипника 1118-2902840 рационального угла контакта, обеспечивающего его повышенную грузоподъемность»; Разработана схема эффективной автоматизированной линии для осуществления процесса комплектования упорно-радиальных шарикоподшипников; предложен оригинальный метод контроля угла контакта; проведены производственные испытания предложенной технологии комплектования упорно-радиальных

шарикоподшипников на базе ООО «Рефмашпром»; выполнен расчет технико-экономической эффективности промышленного применения предложенной технологии на подшипниковых предприятиях; результаты исследований внедрены на предприятиях ООО «Рефмашпром», НПП НИМ СГТУ при производстве упорно-радиальных шарикоподшипников и в учебный процесс по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии машиностроительного производства». Все результаты отражены в публикациях и патентах по данной тематике, представленные на слайде. По теме работы было опубликовано 5 публикаций, входящих в перечень ВАК, 2 из них входят в базу данных SCOPUS, а также имеется три патента: на способ комплектования, на устройство поршневого типа для засыпки шариков и устройство для определения статической грузоподъемности. И участвовала в конференциях различного уровня. Доклад закончен. Спасибо за внимание!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Прошу, пожалуйста, задавайте вопросы соискателю.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Елена Вячеславовна, скажите пожалуйста, а почему именно этот объект Вы выбрали. Он часто ломается?

Соискатель Мухина Е.В.

Спасибо за вопрос. Да, имеется рекламация от организации «Подшипник Агро», которая указала, что подшипник при пробеге автомобиля от 40-80 тыс. км выходит из строя. Образуются вмятины на дорожках качения. Поэтому было обращение по разработке технологии изготовления и решению данного вопроса.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Рекламация одна?

Соискатель Мухина Е.В.

Одна.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Этого достаточно, чтобы этим заниматься? За 80000 км. может вся подвеска два раза развалится. Ну ладно, следующий вопрос. А вот расчетная схема. Откуда взялась. Вы ее взяли и придумали или на основании каких-то других исследований?

Соискатель Мухина Е.В.

Мы ее сами разработали. Она повторяет конструкцию упорно-радиального подшипника. Где есть нижние, верхнее кольцо, тела качения. Отообразили геометрические параметры.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Ну до этого какая -то схема была или она в первый раз появилась.

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, мы ее разработали, и по ней выполняли расчеты.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

А с чего Вы взяли, что именно этот угол  $\beta$  влияет на работоспособность подшипника.

Соискатель Мухина Е.В.

Для выявления зависимости сначала была построена математическая модель, учитывающая различные геометрические параметры. Получили зависимость, что при определенных углах контакта достигается повышенная грузоподъемность. А после были проведены экспериментальные исследования.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

А вот угол  $\beta$  стандартный, равный  $90^\circ$ , он площадь контакта больше обеспечивает на дорожках, значит и грузоподъемность, и работоспособность выше?

Соискатель Мухина Е.В.

Площадь контакта тел и дорожек качения в большей степени зависит от того, какое отношение радиусов профиля дорожек и тел качения обеспечивается. Поэтому отмечаем, что это значение должно находиться в определенном пределе. Повышение площади контакта приводит к увеличению момента сопротивления вращению. Понижение площади контакта увеличивает

нагрузку на шарики. Поэтому необходимо найти рациональное соотношение геометрических параметров, для обеспечения повышенной грузоподъемности, но не увеличив при этом момент сопротивления вращению.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Хорошо. А как это скажется на износе.

Соискатель Мухина Е.В.

На износ это не повлияет.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Почему? Будут увеличены пятна контакта. Ну Вы проверяли или не проверяли.

Соискатель Мухина Е.В.

Мы не ставили целью исследование износа дорожек качения подшипника.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Вы определили конкретные углы контакта. Теперь нужен не стандартный подшипник. Их нужно будет стандартизировать как-то?

Соискатель Мухина Е.В.

Изготовление предлагаемой конструкции подшипника не требует особых вложений. Единственное изменение связано с обработкой диаметров дорожек качения. Да, этот подшипник будет выполнен не по ГОСТу.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Соответственно производство подшипников будет стоить больше. А мы не будем унифицировать. Это будут другие углы.

Соискатель Мухина Е.В.

Единственное, что необходимо изменить – значение диаметров дорожек качения, путем наладки на шлифовальной операции. Дорожки качения были выполнены лобовым способом шлифования, чем обеспечили точность размеров. Поэтому особых материальных вложений и трудозатрат не потребуется. И при серийном типе производства, в котором производилась работа, это допустимо.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В

Вот скажите. Подшипники с углом контакта 90° выдерживали 80000 км пробега. А у подшипников предлагаемой конструкции какая работоспособность?

Соискатель Мухина Е.В.

Статическая грузоподъемность увеличилась на 47%. Работоспособность увеличилась также. При окончательных испытаниях в условиях производства при сравнительном анализе, было доказано, что подшипники с оптимальным углом контакта выдержали испытания в 1250000 циклов и не потеряли своего качества.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В

И последний вопрос. Как Вы разобрались с качеством. Увеличили цену на 10%?

Соискатель Мухина Е.В.

Все расчеты по экономической эффективности были согласованы с производителем.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В

А я спрашиваю – с потребителем.

Соискатель Мухина Е.В.

Качественная продукция должна стоить выше.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Елена Вячеславовна, 7 страница. Как держатся шарики в подшипниках?

Соискатель Мухина Е.В.

Эта расчетная схема. Сами подшипники имеют армированный кожух с замками, в них запрессованы дорожки качения.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Нет, я понимаю. У вас есть сборочный автомат. В каждый подшипник можно 5,10 шариков загружать?

Соискатель Мухина Е.В.

Загружаем количество шариков по чертежу.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Вы можете один и тот же подшипник с разным количеством шариков комплектовать? Это означает, что количество шариков разное?

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, количество шариков всегда одинаковое.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Значит сепаратор у Вас не показан.

Соискатель Мухина Е.В.

Данные подшипники бессепараторные.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

А как же они не сталкиваются и не тормозят друг друга? Как предотвращается торможение? Один шарик догонит какой-то другой. И все они в одном месте сойдутся. По теории вероятности какой-то из них больше напряжен и будет тормозить.

Соискатель Мухина Е.В.

Затрудняюсь ответить.

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

У меня вопрос по слайду 11. По пункту 4, где ищете частную производную. Являются ли переменные  $s$  и  $\beta$  независимыми или они являются сложными функциями?

Соискатель Мухина Е.В.

Переменные  $s$  и  $\beta$  являются зависимыми от переменной  $F$ .

Д-р техн. наук, профессор Зибров П.Ф.

Связаны ли они?

Соискатель Мухина Е.В.

Они влияют друг на друга.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Елена Вячеславовна, будьте любезны, меня интересует технология комплектования подшипников при сборке, как объявлено в названии Вашей диссертации. В автореферате употребляется термин «комплектовочные

параметры». В нескольких словах, пожалуйста. И как реализуется комплектование.

Соискатель Мухина Е.В.

Комплектовочными параметрами являются угол контакта, диаметры дорожек качения, разница диаметров дорожек качения, радиусы профилей дорожек качения, диаметры шариков.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Угол контакта как может быть комплектовочным параметром?

Соискатель Мухина Е.В.

Угол контакта –это параметр, зависящий от других геометрических размеров. Это результат комплектования. Рассчитывая рациональные значения геометрических параметров получаем значение диапазона угла контакта.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Значит комплектовочные параметры — это геометрические параметры элементов самого подшипника и тел качения. И на выходе расчетов, как у Вас написано в автореферате, получаете номинальные значения размеров деталей и предельные отклонения. Что же комплектовать?

Соискатель Мухина Е.В.

По расчетам определяется оптимальный угол контакта, допустимые диапазоны угла контакта, допуски на разницу диаметров дорожек качения и определяем количество групп комплектования.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Что это за группы?

Соискатель Мухина Е.В.

Размерные группы деталей в пределах допуска в зависимости от точности подшипника.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Значит комплектование выполняется по процессу полной взаимозаменяемости? Взаимозаменяемость обеспечивается внутри группы?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, полная взаимозаменяемость обеспечивается внутри группы.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Елена Вячеславовна, я посмотрел список Ваших публикаций. Там достаточно много их. Последний год издания Ваших публикаций 2017. Вы считаете, что Вы своей работой исчерпали все вопросы и ничего делать не нужно?

Соискатель Мухина Е.В.

Я публиковала другие свои работы. Но, все основные работы по этой тематике, я выполняла во время аспирантуры. Другие работы были немного на другую тему, и я их здесь не отразила.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Значит Вы переключились на другую работу. Тогда возникает вопрос, а какие-то нерешенные, новые вопросы, которые предстоит решать, Вы открыли в своей работе?

Соискатель Мухина Е.В.

Я планирую продолжать работать над данной тематикой, и обязательно буду публиковать работы по теме комплектования.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Добрый день! Елена Вячеславовна, скажите пожалуйста, Вы упомянули, что подшипник работает в качательном движении, а какие параметры этого качания?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, угол около 20-30 °

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Это как -то в вашей модели отражалось? То, что он работает в качательном режиме?

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, в нашей модели это не отражалось.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

И еще. Тогда по модели 2 вопроса. Вы упомянули, что эти подшипники работают в ударном режиме. Это в модели использовалось?

Соискатель Мухина Е.В.

Мы не занимались изучением ударных воздействий на данный подшипник. Изучалась лишь статическая грузоподъемность.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Но не получится так, что статический режим не характерен для этих подшипников и они в общем выходят из строя именно из-за того, что работают в ударных условиях.

Соискатель Мухина Е.В.

Повышенная статическая грузоподъемность также влияет и на восприятие ударных нагрузок. Эта тема конечно требует отдельного изучения, но данные подшипники работают при статической нагрузке.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Эти подшипники работают в условиях предварительного натяга?

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, натяга в этих подшипниках нет.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Они держатся в свободном режиме?

Соискатель Мухина Е.В.

Они держатся в свободном режиме, в постоянном контакте тел с дорожками качения.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

За счет чего этот контакт создается, хотя бы вес автомобиля действует?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, действует нагрузка.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

А это в Вашей модели учтено? Для разных моделей автомобилей будет разная нагрузка. Такой параметр в модели введен?

Соискатель Мухина Е.В.

У разных моделей автомобилей конструкция стойки одинакова. Поэтому учли это, указав распределенную нагрузку на подшипник под определенным углом. И это было учтено в расчетной схеме.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

И последний вопрос. Оптимизация, о которой упомянули. Вы выбрали оптимальное значение. Можете сформулировать, по каким критериям вы оптимизировали и какие факторы Вы учитывали при постановке оптимизационной задачи?

Соискатель Мухина Е.В.

Оптимизационную задачу мы не решали. Оптимальный угол контакта – это введенное понятие. Это значение угла контакта, при котором подшипник выдерживает самую максимальную нагрузку. И привели экспериментальные и теоретические исследования, отразив на графике.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

В любом случае критерий был один?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, статическая грузоподъемность.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

А вот факторов сколько было?

Соискатель Мухина Е.В.

Диаметры дорожек качения, диаметры шариков, радиусы профилей дорожек качения, соотношения радиальной и осевой составляющих нагрузки.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

И вот по этим факторам проводили оптимизацию, но по одному параметру?

Соискатель Мухина Е.В.

Да. Главным фактором являлся угол контакта, на который влияют перечисленные геометрические параметры.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Ну и в завершении последний вопрос. Вы каким-то образом учитывали разноразмерность шариков? Какие выдерживают нагрузку, а какие- то

работают вхолостую. Механизм близкий к этому передача винт-гайка. В этом случае 70% – это рабочие шары, а 30% – нерабочие. У Вас это как-то в модели учтено?

Соискатель Мухина Е.В.

То, что имеется разброс размеров диаметра шариков в пределах допуска – учтено в модели.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Спасибо большое.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Добрый день, коллеги! У меня вопрос. Рисунок №1. Угол действия рабочей нагрузки, под каким углом. Как он выбирался? И зависел ли угол  $\beta$  от угла  $\alpha$ ?

Соискатель Мухина Е.В.

Угол  $\alpha$  брался из реальных условий работы подшипника, равен  $7,5^\circ$ . Да, угол  $\beta$  зависит от угла  $\alpha$ . Это переменная  $K_r$ , отношение осевой к радиальной составляющей нагрузки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

В производственных условиях угол  $\alpha$  меняется в каких пределах?

Соискатель Мухина Е.В.

В производственных испытаниях мы не исследовали изменение угла  $\alpha$ .

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Понятно, а скажите пожалуйста, что является в этой схеме замыкающим звеном? При сборке мы всегда видим, что есть замыкающее звено. Скажите где это замыкающее звено? И использовали Вы размер замыкающего звена при комплектовании?

Соискатель Мухина Е.В.

Замыкающим звеном обычно является зазор в подшипнике. И мы определяем допустимый зазор в подшипнике.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Схема комплектования делается по замыкающему звену. Вот посмотрите рисунок 3. Вы сказали, что есть радиальный зазор, где? Замыкающее звено

должно быть сформулировано и являться основой для комплектования. Теперь к комплектованию. Я не понимаю технологии комплектования. Вот Леонид Викторович задел этот вопрос и правильно сделал. Итак, мы имеем шарики, нижнее и верхнее кольцо и первое, с чего начинается комплектование? С того, что шарики собираем в комплект. Сколько их? 6 или 8?

Соискатель Мухина Е.В.

Полный комплект составляет 46 шариков.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Чем руководствуемся при сборке? Какая селективность группы сборки шариков присутствует в Ваших исследованиях?

Соискатель Мухина Е.В.

У нас одна группа.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Какая? Она от 1 до 15. 15 групп. И какой допуск в этой группе?

Соискатель Мухина Е.В.

5 группа, отклонение  $\pm 0,05$  мм

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вы проводили испытания с 6-ю шариками. Как выбирали эти шарики? Случайным методом?

Соискатель Мухина Е.В.

Шарики выбирались по диаметру равным  $5 \pm 0,05$  мм

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Пять сотых? Что-то это очень много. Пять сотых это 50 микрон

Соискатель Мухина Е.В.

Да, я ошиблась, пять тысячных, допуск 0,005мм

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Это размер замыкающего звена 5 микрон, а размер шарика другой. Это зависит от группы селективной сборки. Итак, давайте все-таки к комплектованию вернемся. Комплектование состоит из ряда операций, переходов, вот я такого

не нашел здесь. Вы можете сформулировать, какая последовательность комплектования. Мы получаем сепаратор с шариками или без сепаратора?

Соискатель Мухина Е.В.

На комплектовочной операции можем как использовать сепаратор, так и не использовать. Сначала производятся расчеты, сколько групп необходимо. После замеряем значения геометрических параметров, что бы они находились в рекомендуемом допуске.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так какой этот рекомендуемый допуск? И сколько групп?

Соискатель Мухина Е.В.

Одна группа.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Как одна группа? все смешать?

Соискатель Мухина Е.В.

Наши расчеты показали, что нет необходимости обеспечивать точный угол контакта и достаточно одной группы. Так как при изготовлении деталей данного подшипника по рекомендациям, мы всегда получим подшипник с рациональным диапазоном угла контакта, который принимает значения  $60 \pm 5^\circ$ .

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Скажите пожалуйста угол контакта влияет на размер замыкающего звена?

Соискатель Мухина Е.В.

Влияет.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

И последний вопрос. В автореферате, рисунок 4 – Зависимость угла контакта от разницы диаметров дорожек качения. Почему размер шкалы неравномерный? И на следующем рисунке. Почему вы не все значения углов взяли? Не взяли угол, равным  $90^\circ$

Соискатель Мухина Е.В.

Эксперимент проводили именно для упорно-радиальных подшипников. А подшипник с углом контакта равным  $90^\circ$  участвовал в испытаниях на статическую грузоподъемность в сравнении с разработанным подшипником.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Резюме такое, что никакой комплектации нет. Сборка есть, комплектации нет. Разбиение по группам, чтобы обеспечить требуемую точность замыкающего звена. Вот, что нужно было сделать. Надо было вот к этому подвести. Вы должны были обеспечить требуемый параметр точности сборки. Все. У меня больше нет вопросов.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Рисунок 1. Вот скажите пожалуйста Вы говорили на счет замыкающего звена. У вас изображено так, что замыкающего звена нет. У Вас какой-то шарик самый большой и значит он будет определять высоту всего этого сооружения. Вот и возникает вопрос, как к этому подходить. Вы говорите, шарики нагружены неравномерно, значит есть наиболее нагруженный шарик, но нагружен он в контакте, зазора нет. У вас только натяг. И вы определяете угол контакта по самому нагруженному телу и у Вас шарик один. Тогда что с остальными шариками. В данном случае я понимаю, если шарики меняют относительно оси положение, то будет три точки опоры. Но это вряд ли происходит. И еще вопрос у Вас есть формула определения  $\beta_f$ . В этой формуле хорошо видны все конструктивные параметры. Но потом  $\beta_r$  нигде не встречается. Тогда что такое  $\beta_r$  и  $\beta$ ?

Соискатель Мухина Е.В.

В экспериментальных исследованиях контролировали фактический угол контакта  $\beta_f$ . Он контролировался двумя способами расчетным и при помощи измерений.  $\beta_f$  – это измеренное значение,  $\beta_r$  – это расчетное значение, но это тот же угол  $\beta$ , что указан на схеме.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Какая связь между  $\beta$  и  $\beta_r$ ?

Соискатель Мухина Е.В.

$\beta$  Это и есть –  $\beta_{gr}$ .  $\beta_{gr}$ -это измеренное значение конкретного подшипника.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Оно будет меняться от нагрузки. Это идеальное значение в какой-то момент времени. Меняется нагрузка и ширина подшипника меняется. Шары встают в другое место.

Соискатель Мухина Е.В.

Рассчитанное  $\beta$  – это номинальное значение.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

То есть это  $\beta$  зависит чисто от конструктивных величин, в данном случае от максимального диаметра шарика.

Соискатель Мухина Е.В.

Да, мы не производили контроль угла  $\beta$  под рабочей нагрузкой. Контроль проводился перед испытаниями. Для того, чтобы понять какая из экспериментальных групп имеют наибольшее значение статической грузоподъемности.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Но у вас одна группа.

Соискатель Мухина Е.В.

Да по расчетам нам достаточно одной группы. Все зависит от точности подшипника.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

В названии Вашей работы и цели Вы парировали повышение статической грузоподъемности. На сколько повысилась эта грузоподъемность? Повысилась ли она вообще?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, статическая грузоподъемность повысилась на 47%.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

За счет чего?

Соискатель Мухина Е.В.

За счет обеспечения разности дорожек качения и угла контакта согласно рекомендациям. Происходит уменьшение контактные напряжений, т.к. все тела качения загружены.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Тогда вернемся к расчету себестоимости, слайд 26. Почему же не увеличилась себестоимость производства?

Соискатель Мухина Е.В.

Единственная операция, которую нужно изменить – шлифовальная. Но как я уже говорила, там необходимо переналадить шлифовальный круг на другой размер. Поэтому себестоимость не меняется.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Как я правильно понял идею работы, Вы шарики разбиваете на несколько групп.

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, у нас шарики одной группы

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Тогда за счет чего получаете повышение грузоподъемности? Технология никак не поменялась?

Соискатель Мухина Е.В.

Мы поменяли конструкцию подшипника. И за счет этого повысилась статическая грузоподъемность. И выросла продажная цена.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Тогда нужно было писать за счет совершенствования конструкции, а не технологии комплектования.

Соискатель Мухина Е.В.

Технология комплектования подходит не только для этих подшипников, но и для других подшипников, работающих под комбинированной нагрузкой. И расчеты внедрены в технологию комплектования, т.к. комплектование выполняется не по стандартному углу контакта, а по расчетному, оптимальному.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Вы в докладе говорили о двух моделях. Математическая и компьютерная. Поясните пожалуйста, чем компьютерная модель отличается от математической.

Соискатель Мухина Е.В.

Компьютерная модель – более расширенная теоретическая модель. В ней представлены формулы по расчету всех геометрических параметров подшипника и расчеты по разброс статической грузоподъемности. В диалоговом режиме можно автоматически рассчитать все параметры.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

То есть это программная реализация Вашей теоретической модели?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, это так.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

Максимальная нагрузка определяется при возникновении пластической деформации?

Соискатель Мухина Е.В.

Да, при возникновении следов на дорожках качения от шариков.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

Размер площадки замеряли?

Соискатель Мухина Е.В.

Нет, не замеряли.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

Еще вопрос по комплектованию. Вы искусственно создаете разность диаметров дорожек качения. И сколько групп Вы получаете?

Соискатель Мухина Е.В.

Одну.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

Есть ли корреляция между статической грузоподъемностью и ударной нагрузкой?

Соискатель Мухина Е.В.

Да. Ударная нагрузка – это статическая грузоподъемность, умноженная на коэффициент. Мы принимали значение 3. Таким образом получали связь.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

А долговечность?

Соискатель Мухина Е.В.

Долговечность мы не изучали. Но проводили испытания, которые показали, что подшипники свободно выдерживают нагрузку на протяжении 1250000 циклов качания.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н

А из строя они выходят в основном из-за ударов?

Соискатель Мухина Е.В.

Из- за ударов они выходят по той причине, что обеспечен неоптимальный угол контакта. И нагрузка на тела качения воспринимается наибольшая.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Елена Вячеславовна, скажите пожалуйста, этот подшипник находится под постоянным контактом под действием силы в устройстве, в котором он расположен или, как интересовался Николай Васильевич Носов, там образуется зазор? Здесь довольно сложное сопряжение двух сферических тел. Контакт выборочный. Но есть постоянный натяг или нет?

Соискатель Мухина Е.В.

В данных подшипниках присутствует постоянный контакт.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Действительно, мы ведь замыкающее звено считаем от 0 до какого-то значения. Может быть и 0. Но может и не 0. А как контролируется качество сборки?

Соискатель Мухина Е.В.

Контроль производится по относительному перемещению верхнего и нижнего колец друг относительно друга.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вы говорили о радиальном перемещении. Как контролируется радиальное биение?

Соискатель Мухина Е.В.

При помощи индикатора часового типа и приспособления.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но Вы об этом ничего не говорите, что было разработано специальное приспособление. Больше нет вопросов.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть еще вопросы? Вопросов больше нет. Тогда есть предложение провести технический перерыв! Согласны? 10 минут перерыв.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Технический перерыв закончился. Продолжаем нашу работу. Слова представляется научному руководителю работы профессору Королёву Андрею Альбертовичу. Пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Королев А.А..

Я бы хотел охарактеризовать свою аспирантку. Она конечно очень много сделала в этой работе. Она готовый специалист. Вполне заслуживает ученую степень кандидата технических наук. Она проводила самостоятельно исследования, создала математическую модель, провела практические исследования, показала адекватность этой модели. Что можно сказать по существу работы. Замыкающим звеном здесь, конечно, является шарик, а не зазор. Количество групп при комплектовании зависит от точности изготовления колец. По этой методике можно определить сколько групп шариков должно быть. Угол контакта определялся из того, чтобы суммарные колебания нагрузки на шарик изменялся в пределах 5 %. Это условия установили мы. Так как кольца изготовлены довольно точно, нам достаточно одной группы шариков. На Вологодском подшипниковом заводе большая разноразмерность колец. Поэтому комплектуют, используя три группы. На любых других подшипниковых заводах, так они не знают как угол контакта влияет на грузоподъемность, для того чтобы перестраховаться,

будут изготавливать пять групп шариков. Конечно всё это усложняет технологический процесс. Считаю, что аспирантка самостоятельный учёный, проявила себя человеком, владеющим математическим аппаратом, прекрасно ставит эксперименты. Мне, как руководителю, было легко с ней работать. Поэтому считаю, что она законченный специалист и может иметь степень кандидата технических наук. Большое спасибо!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Слово предоставляется Ученому секретарю диссертационного Совета Веткасову Николаю Ивановичу для оглашения заключения организации, где была выполнена диссертация, и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

В соответствии с регламентом на адрес диссертационного совета своевременно было выслано заключение федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет им. Ю.А Гагарина», где была выполнена диссертация. Разрешите кратко его зачитать.

Диссертация «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке» выполнена на кафедре «Технология машиностроения» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

В 2014 г. Мухина Е.В. окончила Институт электронной техники и машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» по специальности «Технология машиностроения».

С сентября 2014 г. по 2018 г. Мухина Е.В. являлась аспиранткой очной формы обучения по направлению 15.06.01 «Машиностроение» на кафедре «Технология машиностроения» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Диплом об окончании аспирантуры выдан в 2018 г. в СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Королёв Андрей Альбертович, работает профессором кафедры «Технология и системы управления в машиностроении» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение.

1. Диссертация Мухиной Елены Вячеславовны выполнена на высоком научном уровне, представляет собой самостоятельное, целостное, завершённое исследование, выполненное на актуальную тему и содержащее решение прикладной научной задачи, заключающейся в повышении статической грузоподъёмности шариковых подшипников путем совершенствования технологии их комплектования при сборке.

2. Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в постановке и обосновании цели и задач исследования, разработке и обоснования технологии комплектования подшипников в процессе сборки, математическом моделировании влияния комплектовочных параметров на нагрузочную способность подшипника под действием комбинированной внешней нагрузки, проведении экспериментальных исследований влияния комплектовочных параметров подшипника на статическую грузоподъёмность и момент сопротивления вращению, а также созданию компьютерной модели процесса формирования статической грузоподъёмности упорно-радиальных подшипников в процессе комплектования при сборке, позволяющей определить рациональный диапазон значений комплектовочных параметров.

3. Степень достоверности результатов, проведенных соискателем ученой степени исследований подтверждается: разработкой способа комплектования шариковых упорно - радиальных подшипников, основанного на расчете рационального диапазона значений угла контакта, позволяющего повысить статическую грузоподъёмность; разработкой рабочей инструкции по обеспечению в процессе комплектования подшипника 1118-2902840 рационального угла контакта. Так же было разработано устройство, позволяющее проводить исследования статической грузоподъёмности

подшипника под действием реального соотношения составляющих внешней нагрузки на подшипник и спроектирована автоматическая линия сборки упорно-радиальных подшипников, в основе которой заложено устройство для засыпки шариков в подшипник при его сборке и комплектовании. Справедливость выводов относительно адекватности компьютерной и математической моделей процесса комплектования подтверждается экспериментальными исследованиями, выполненными с применением современных методов планирования экспериментов и обработки экспериментальных данных, а также показателями эффективности опытно-производственного применения разработанной технологии и практических рекомендаций.

4. Научная новизна результатов диссертации Мухиной Е.В. заключается в следующем: 4.1 Выполнено математическое моделирование влияния угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров на статическую грузоподъемность в однорядном упорно-радиальном шариковом подшипнике. Установлены новые закономерности процесса комплектования; 4.2 Разработана компьютерная модель формирования статической грузоподъемности упорно-радиальных подшипников в процессе комплектования при сборке, позволяющая определить рациональный диапазон значений комплектовочных параметров; 4.3 Научно обоснована технология комплектования упорно-радиальных подшипников передней стойки автомобилей по критерию статической грузоподъемности, основанная на определении оптимального и допустимых углов контакта тел и дорожек качения; 4.4 Установлена и формализована экспериментальная зависимость статической грузоподъемности подшипника от угла контакта в подшипнике.

Полученные зависимости позволяют определить технологические факторы, обеспечивающие комплектование подшипника с рациональным диапазоном угла контакта, обеспечивающего повышенную статическую грузоподъемность подшипника. 4.5 Проведены экспериментальные

исследования влияния комплектовочных параметров подшипника на статическую грузоподъемность и момент сопротивления вращению.

5. Практическая значимость работы состоит в том, что: – разработан способ комплектования шариковых упорно - радиальных подшипников, основанный на расчете рационального диапазона значений угла контакта, позволяющий повысить статическую грузоподъемность (патент № 2626800); – разработана «Рабочая инструкция по обеспечению в процессе комплектования подшипника 1118-2902840 рационального угла контакта, обеспечивающего его повышенную грузоподъемность», где предложены рациональные условия осуществления процесса комплектования подшипников 1118-2902840, используемых в верхней опоре передней подвески автомобилей семейства ВАЗ Калина, Приора, Гранта; – предложено специальное устройство для исследования статической грузоподъемности подшипника под действием реального соотношения составляющих внешней нагрузки на подшипник (Патент РФ № 170317); – предложено эффективное устройство поршневого типа для засыпки шариков в подшипник при его сборке и комплектовании, (патент №157388); – результаты работы приняты к внедрению на предприятии ООО «Рефмашпром» г. Саратов при производстве подшипников 1118-2902840, используемых в верхней опоре передней подвески автомобилей семейства ВАЗ: Калина, Приора и других и в НПП НИМ СГТУ имени Гагарина Ю.А. при освоении производства подшипников 1118-2902840- 05.

6. Ценность научных работ автора заключается в разработке и исследовании закономерностей комплектования упорно-радиальных шарикоподшипников, и созданию на этой основе научно обоснованной технологии комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности. Получены научные результаты: – получена математическая модель формирования статической грузоподъемности упорно-радиального шарикоподшипника, работающего при комбинированной внешней нагрузке, в процессе комплектования при сборке; – установлена закономерность, отражающая влияние на угол контакта в упорно-радиальном

подшипнике и на статическую грузоподъемность подшипника комплектовочных параметров: разницы диаметров дорожек качения колец подшипников, радиусов профилей дорожек качения, диаметра шариков и соотношения значений составляющих внешней нагрузки; – установлен экстремальный характер влияния угла контакта на статическую грузоподъемность упорно-радиального шарикоподшипника, получены зависимости, отражающие влияние на величину оптимального значения угла контакта, при котором обеспечивается максимальная статическая грузоподъемность подшипника, соотношения составляющих внешней нагрузки; – разработана компьютерная модель формирования статической грузоподъемности упорно-радиального шарикоподшипника при комплектовании и сборке, которая позволяют определить при заданных условиях работы подшипника минимально возможную нагрузку на шарики; – установлены регрессионные зависимости статической грузоподъемности упорно-радиального шарикоподшипника и момента сопротивления вращению подшипника от влияющих факторов: соотношения радиусов профиля дорожек качения и диаметра шариков и диаметра шариков; – установлено, что наибольшее влияние на статическую грузоподъемность подшипника и момент сопротивления вращению оказывает соотношение радиуса профиля дорожек качения и диаметра шариков, так как влияние этого фактора существующие методики комплектования подшипников не учитывают. А это приводит к значительному снижению эксплуатационных свойств подшипников.

7. Апробация работы. Результаты работы, а также ее отдельные разделы докладывались и обсуждались на 1 всероссийской научно-технической конференции и 14 научно-технических международных конференциях.

8. Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 24 работы, в том числе 5 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ. Получены патенты на полезную модель №157388 «Устройство поршневого типа для засыпки шариков» и №170317 «Устройство для определения статической грузоподъемности подшипника качения», а

также патент на изобретение № 2626800 «Способ комплектования шарикоподшипников».

9. Выказанные в ходе обсуждения диссертационной работы замечания носили частный характер и по существу не затрагивали ее основных положений и результатов.

Диссертационная работа Е.В. Мухиной соответствует паспорту специальности 05.02.08. - «Технология машиностроения».

Диссертация «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке» Мухиной Елены Вячеславовны соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08. - «Технология машиностроения».

Заключение принято на заседании кафедры «Технология машиностроения» СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Присутствовало на заседании 20 человек.

Результаты голосования: «за» – 20 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №19 от «30» августа 2018 г.

Заключение подписано заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Васиным Алексеем Николаевичем и утверждено и.о. ректора СГТУ имени Гагарина Ю.А. Афоным О.А.

В соответствии с регламентом отзыв ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный технологический университет» – был своевременно выслан в адрес диссертационного совета. Разрешите его зачитать с некоторыми сокращениями.

Отзыв содержит общие сведения о диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения, определений, списка

литературы из 73 наименований и 6 приложений на 12 страницах. Общий объем работы (без приложений) 113 страниц.

По теме диссертации опубликовано 24 работы. Приведён перечень научно-технических конференций, на которых докладывались и обсуждались основные положения и результаты работы, которые дают основания считать, что диссертационная работа прошла достаточную апробацию.

Отмечается, что по объёму и структуре диссертация соответствует установленным требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по заявленной специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Автореферат в полном объёме отражает содержание диссертационной работы.

Отмечается актуальность темы исследования. Широко применяемые методы и способы комплектования подшипников является трудоемким и дорогостоящим процессом. И, несмотря на это на многих изделиях возникает преждевременный износ деталей в процессе эксплуатации. Одной из основных причин является неравномерное распределение нагрузки и напряжений в подшипнике. Автор работы связывает эту причину с неверно выбранным углом контакта или неверно выбранным типом подшипника, согласно существующим справочным рекомендациям.

В работе предлагается использовать технологию комплектования, работающую по критерию статической грузоподъёмности. Данная технология позволит обеспечить рациональный диапазон угла контакта тел и дорожек качения в шариковом подшипнике, при котором нагрузка на тела качения будет минимальна.

Отмечается новизна исследований и ценность полученных результатов. Получены новые научные результаты, которые заключаются в разработке математической модели влияния угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров на статическую грузоподъёмность в однорядном упорно-радиальном шариковом подшипнике; компьютерной модели формирования статической грузоподъёмности упорно-радиальных

подшипников в процессе комплектования при сборке, позволяющая определить рациональный диапазон значений комплектовочных параметров; технологии комплектования упорно-радиальных подшипников передней стойки автомобилей по критерию статической грузоподъемности, основанная на определении оптимального и допустимых углов контакта тел и дорожек качения; экспериментальная зависимость статической грузоподъемности упорно-радиального подшипника от геометрических параметров дорожек качения и угла контакта в подшипнике, которые позволяют определить технологические факторы, обеспечивающие комплектование подшипника с рациональным диапазоном угла контакта.

Отмечается степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. В частности, отмечается, что полученные автором выводы, в достаточной степени обоснованы, опираются на существующие научные положения и не противоречат существующим теориям и исследованиям. Достоверность результатов работы, основных выводов и рекомендаций подтверждается обоснованным использованием исходных данных, использованием современного математического аппарата и научных положений, статистически значимым соответствием результатов теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований, результатами производственного испытания работоспособности подшипников, изготовленных с применением предложенной технологии.

Техническая новизна и работоспособность предложенных решений подтверждается 3 патентами.

Отмечается значимость результатов, полученных автором диссертационной работы для науки и практики

В диссертации решалась научная задача, которая заключается в разработке и исследовании закономерностей комплектования упорно-радиальных шарикоподшипников, и созданию на этой основе научно-обоснованной технологии комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности.

Практическая значимость заключается в разработке способа и технологии комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности, разработке устройства для определения статической грузоподъемности упорно-радиальных шарикоподшипников и схемы эффективной автоматизированной линии для осуществления процесса комплектования упорно-радиальных шарикоподшипников, а также разработке практических рекомендаций предложенной технологии в промышленности.

Практическая значимость подтверждается актами внедрения на машиностроительных предприятиях: ООО "Рефмашпром" и в НПП НИМ СГТУ при производстве упорно-радиальных шарикоподшипников.

Отмечается, что выполненные исследования могут найти широкое применение в производстве других упорно-радиальных и радиально-упорных подшипников, особенно специальных подшипников, для которых известна внешняя эксплуатационная нагрузка.

Результаты выполненных исследований могут найти применение не только на подшипниковых предприятиях, но и в различных НИИ, КБ, ОКБ при создании новой техники. В этом случае при конструировании и расчете подшипниковых узлов, механизмов и машин можно предусматривать комплектование упорно-радиальных и радиально-упорных подшипников с рациональными параметрами, обеспечивающими повышенную грузоподъемность подшипников.

Есть замечания по работе. Отмечая научную новизну, практическую и теоретическую значимость исследования, необходимо отметить следующие замечания и пожелания:

1. Не четко обозначены регулируемые параметры при комплектовании упорно-радиальных подшипников.
2. В автореферате показаны не все экспериментальные зависимости угла контакта и статической грузоподъемности от комплектовочных параметров.
3. При выводе математической модели распределения нагрузки в подшипнике нет единиц измерения в правой и левой частях уравнений (см.

зависимости 2.6-2.9, 2.14, 2.18, 2.19 и т.д.), что не позволяет определить правильность их вывода.

4. Используется несоответствующая СИ и общепринятой технической литературе терминология (см. Заключение на с.102 «снижает надежность работы подшипника», «близкого к максимальному критическому значению»).

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы, но должны быть учтены автором при дальнейших исследованиях в предметной области диссертации.

Заключение. Работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных средств и методов, что позволило получить достоверные результаты при обосновании способа комплектования упорно-радиальных подшипников. Выполненные исследования имеют высокую практическую значимость и заслуживают широкой практической реализации.

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится научно обоснованное решение важной практической задачи создания технологии комплектования шариковых подшипников, позволяющей существенно повысить статическую грузоподъемность подшипников.

Диссертация Мухиной Елены Вячеславовны соответствует требованиям п.9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08-«Технология машиностроения».

Отзыв обсужден и принят на заседании кафедры «Технология машиностроения» 12 ноября 2020 года. протокол № 4. Отзыв составлен Голубовским Виталием Вадимовичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» и утвержден ректором, профессором Д.В. Пащенко.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов, все они положительные. Замечания по автореферату и ответы соискателя на замечания получили все члены Совета. Если у членов Совета нет возражений, то предоставим слово соискателю для ответа на замечания ведущей организации и замечания из отзывов на автореферат. Возражений нет? Тогда слово соискателю на ответы. Пожалуйста.

Соискатель Мухина Е.В.

Спасибо. От ведущей организации было 4 замечания.

Ответ на первое замечание: Регулируемыми параметрами при комплектовании упорно-радиальных подшипников являются: диаметры дорожек качения верхнего и нижнего колец, диаметр тел качения, радиусы профиля дорожек качения и угол контакта тел и дорожек качения.

Ответ на второе замечание: В автореферате не были предоставлены: Влияние среднего значения угла контакта  $\text{ср } \beta \text{ f (град.)}$  в подшипнике на СКО рассеивания значений угла контакта и на СКО рассеивания значений критической силы.

С третьим и четвертым замечаниями согласна.

По замечаниям на автореферат были присланы отзывы от: профессора кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатации машин» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщений», д-ра техн. наук, доцента **А.С. Ильиных**; и.о зав. кафедрой «Технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», канд. техн. наук, доцента **Ю.В. Никитина**; инженера –конструктора 1-ой категории лаборатории приемных устройств отдела СВЧ особого конструкторского бюро АО «Ульяновский механический завод», канд. техн. наук, **Д.Э. Цыганкова**; проректора по перспективному развитию ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», д-ра техн. наук, профессора **А.В. Киричека**; профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», д-ра техн. наук, профессора **А.П.**

**Моргунова;** профессора кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-ра техн. наук, доцента **М.В. Соколова;** заслуженного работника высшей школы РФ, заведующего кафедрой «Станки, инструменты» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», д-ра техн. наук, профессора, **Е.В. Артамонова.**

Я замечания разделила на 4 группы. 1 группа - замечания, которые требуют пояснения. На второе замечание профессора А.С.Ильиных и на третье замечание профессора А.В. Киричека отвечаю: во всем мире высоко ценится качество изделий, только у нас в России это часто не считается заслугой разработчиков. Основным источником эффективности технологии комплектования является качество подшипников, и ООО «Рефмашпром», где осуществляется внедрение нашей технологии, подтвердил это. Другим источником эффективности ООО «Рефмашпром» выделил сокращение трудоёмкости сборочной операции за счет снижения количества групп, на которые делятся детали при комплектовании. Эта эффективность подтверждается результатами испытаний, которые были проведены на производстве ООО «Рефмашпром». Повышение цены подшипника на 10% за счет повышения его качества было предложено производителем упорно радиальных автомобильных подшипников ООО «Рефмашпром» на основе выполненных им маркетинговых исследований. Мы считаем, что это скромное повышение цены, так как подшипник после предложенной сборки может служить вдвое дольше, чем обычный подшипник

На первое замечание доцента Ю.В. Никитина и на первое замечание Д.Э. Цыганкова отвечаю: мною были изучены работы зарубежных ученых в области формирования нагрузки и контактных взаимодействий в деталях подшипника таких, как Мелдау, Роода и Штрибека, и они нашли отражение в диссертации.

На второе замечание доцента Ю.В. Никитина отвечаю: Предлагаемую математическую модель и программный продукт можно использовать для

всех видов упорно-радиальных подшипников, но особенно для тех, для которых определяющей является статическая грузоподъемность.

На первое замечание профессора А.В. Киричека отвечаю: Любой конструктор выбор подшипников действительно осуществляет исходя из требуемых динамической или статической грузоподъемности. Но комплектование подшипников осуществляют по стандартному углу контакта. Однако далеко не всегда угол контакта стандартного подшипника соответствует оптимальному значению, при котором воспринимаемая статическая грузоподъемность будет максимальной. Для повышения работоспособности и надежности автомобилей, самолетов и другой техники, для которых известны действующие нагрузки на подшипники, их комплектование следует осуществлять с нестандартным углом контакта исходя из обеспечения максимально возможной статической грузоподъемности. Мы такую методику комплектования и предлагаем.

На второе замечание профессора А.В. Киричека отвечаю: коэффициент Пуассона (коэффициент поперечной деформации) принимается по справочным данным для конкретного вида материала. Для всех сталей его обычно принимают равным  $\mu = 0,3$ .

2 группа – замечания, вызванные краткостью автореферата. На первое замечание профессора А.С. Ильиных, на четвертое замечание профессора А.В. Киричека и замечание профессора А.П. Моргунова отвечаю: Ограниченный объем автореферата не позволил подробно описать рабочую схему устройства для засыпки шариков и автоматическую сборочную линию.

На второе замечание Д.Э. Цыганкова отвечаю: Ограниченный объем автореферата не позволил подробно описать суть методики Королева А.А. и А.В., который заключается в расчете распределения внешней комбинированной нагрузки между дорожками и телами качения с учетом их упругой деформации в точках контакта. Данная методика описывается в тексте диссертации на страницах 30-32.

3 группа – замечания, с которыми я буду работать в дальнейшем. Это первое замечание профессора А.В. Киричека.

4 группа – замечания, с которыми согласна. Это третье замечание от Д.Э. Цыганкова и замечание профессора Е.В. Артамонова.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Вопросов нет? Ну тогда продолжим дальше. Слово предоставляется официальному оппоненту профессору Семенову Александру Николаевичу. Александр Николаевич, пожалуйста!

Оппонент – д-р техн. наук, профессор Семенов А.Н.

Добрый день, уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета, Елена Вячеславовна! В соответствии с регламентом мой отзыв своевременно был выслан в адрес диссертационного совета. Сейчас разрешите кратко зачитать отзыв.

Актуальность темы. Не вызывает сомнений. По одному образному выражению подшипники являются суставами машин, которые соединяют подвижные и неподвижные детали. Поэтому они определяют работоспособность и надежность машин. Что особенно важно для автомобилей, как средство повышенной опасности. Есть ещё одна сторона актуальности, которую к сожалению автор не очень глубоко исследовала это возможность уточнения исходных принципов технологии машиностроения. Здесь речь идёт об обеспечении заданной точности замыкающего звена, который в данном случае понимается, как способ сборки с целью полной взаимозаменяемости. Возможно поэтому было много вопросов по расчётам замыкающего звена. Что касается научной новизны. В целом я согласен с автором с небольшой корректировкой.

Научная новизна следующих положений: математическая и компьютерная модели влияния угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров на статическую грузоподъемность в однорядном упорно-радиальном шариковом подшипнике; экспериментальные зависимости статической грузоподъемности и момента сопротивления

вращению подшипника от угла контакта тел и дорожек качения и других комплектовочных параметров, которые позволили определить рациональный диапазон значений угла контакта тел и дорожек качения, при котором обеспечивается повышенная статическая грузоподъемность подшипника; способ комплектования подшипников по критерию статической грузоподъемности, основанный на определении оптимального угла контакта тел и дорожек качения и его допустимых пределов, обеспечивающие повышение статической грузоподъемности.

Выводы по главам, заключение в работе и рекомендации для производственного использования соответствуют разработанным положениям и оригинальны. Степень достоверности научных и практических результатов не вызывает сомнений, так как они подтверждаются результатами экспериментальных испытаний и внедрений. Практическая ценность диссертационной работы и рекомендаций заключается в разработке оригинального способа комплектования, позволяющие уменьшить нагрузку на шарике, за счет обеспечения оптимального угла контакта, позволяющем уменьшить нагрузку на шарики за счет выбора угла комплектования подшипника в зависимости от соотношения радиальной и осевой нагрузок на подшипник и за счет сохранения в подшипнике неизменным соотношения радиуса профиля тел и дорожек качения.

Практическая значимость полученных в работе результатов подтверждается актом внедрения рабочей инструкции на предприятиях ООО "Рефмашпром" и в НПП НИМ СГТУ.

Содержание работы и ее завершенность. Работа хорошо выражена, состоит из 5 глав. Содержание выдержано, поскольку она представлена в автореферате.

Замечания по диссертационной работе: 1. Задачи исследования, отражающие последовательность достижения цели, поставленной во введении, оторваны от нее и приведены в конце первой главы. 2. На стр.3 написано, что «Из всех стандартов только ГОСТ 29241-91 предусматривает

возможность применения упорно-радиального подшипника серии 7800», в то время как ссылки на данные типы подшипников также имеются в ГОСТ 3395-89 Подшипники качения. Типы и конструктивные исполнения, ГОСТ 9942-90 Подшипники упорно-радиальные роликовые сферические одинарные. Технические условия, ГОСТ 520-2011 Подшипники качения. Общие технические условия.

3. Очень емкие, сложные и насыщенные названия подразделов основных глав, которые следовало бы разбить на более мелкие и глубокие по содержанию составные части, четко отражающие поставленные и решаемые задачи.

4. В ф-ле 2.1 обозначения осевой и радиальной нагрузок выполнено одинаково  $r_m$  (максимальные значения взаимно перпендикулярных нагрузок, воспринимаемых упорно-радиальным подшипником), в то время как на рисунках они имеют соответствующие индексы  $r_o$  и  $r_r$ .

5. В ф-ле 2.2 приведен коэффициент  $s$  как неизвестное число, которое находится путем решения системы уравнений, в то время как у него должен быть физический смысл, поскольку на его основе рассчитываются коэффициенты осевой и радиальной нагрузки, и этот коэффициент входит в индексы коэффициентов нагрузок «Важно учесть, что величина должна находиться в диапазоне  $0 \leq 1$ , так как только при таком соотношении соблюдается неразрывность контакта шариков».

6. Опечатки в задании начальных условий эксперимента: диаметр дорожки качения верхнего кольца подшипника: 85,5 мм, Твердость по Бринеллю, 3999Мпа.

7. Испытания 5 групп подшипников проводилось по однофакторному эксперименту- лучше проводить по теории планирования экспериментов с получением регрессионной модели.

8. В таблицу 3.2 одновременно сведены условия проведения экспериментов и результаты по проверке адекватности по СКО – нет описания способа подтверждения достоверности результатов и точности экспериментов.

9. П. 4.1 Алгоритм процесса комплектования сводится к письменному описанию процесса комплектования, не позволяющая рассчитать и запрограммировать процесс комплектования, в то время как имеется четкая стандартизованная формулировка: «Схемы алгоритмов ...

состоят из имеющих заданное значение символов, краткого пояснительного текста и соединяющих линий.

Замечания незначительно снижают качество выполненной научно-квалификационной работы, не влияют на полученные теоретические и прикладные результаты и на общую положительную оценку диссертации.

Личный вклад автора в выполненное диссертационное исследование достаточно полно отражен в тематических публикациях и его значимость в достижении поставленной цели сомнений не вызывает.

Заключение. Диссертация Мухиной Е.В. на соискание степени кандидата технических наук на тему «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке», выполнена на актуальную тему и является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной технической задачи.

Диссертация по своему объему, актуальности, научной и технической значимости полностью соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Мухина Елена Вячеславовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - «Технология машиностроения»

Подпись – официальный оппонент профессор кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева», доктор технических наук, профессор Семенов Александр Николаевич.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Большое спасибо, Александр Николаевич! Елена Вячеславовна, пожалуйста ответы на замечания оппонента.

Соискатель Мухина Е.В.

В ответ на первое замечание: Задачи работы обычно формулируют после обзора по теме диссертации, поэтому я привела их в конце обзорной главы.

В ответ на второе замечание: Как справедливо заметил оппонент, ссылки на упорно-радиальные подшипники есть в других ГОСТах. Но я сослалась на ГОСТ 29241, который специально посвящен упорно- радиальным подшипникам, близким по конструкции к тем, которые мы исследовали.

В ответ на третье замечание: Нам не хотелось дробить разделы на мелкие главы, поэтому, чтобы отразить их содержание, пришлось повысить сложность формулировки некоторых параграфов.

В ответ на пятое замечание: У безразмерного коэффициента имеется физический смысл, так как он характеризует неравномерность распределения нагрузки между шариками в подшипнике при условии, что все шарики находятся в контакте с дорожками качения. От величины коэффициента  $\zeta$  зависит максимальная нагрузка на шарики.

В ответ на седьмое замечание: Мы выполнили однофакторный эксперимент пяти групп подшипников, так как важно было выявить влияние на нагрузочную способность подшипника одного фактора, а именно угла контакта в подшипнике и сопоставить результат с теоретическими данными. А вот исследование момента сопротивления вращению подшипника и его статической грузоподъемности от влияющих факторов мы выполнили по методике многофакторного эксперимента.

В ответ на восьмое замечание: На рис. 4.2 наглядно показано, что теоретическая зависимость критической нагрузки от угла контакта в подшипнике находится внутри верхней и нижней границ экспериментальных зависимостей, что является подтверждением адекватности теоретической модели.

В ответ на девятое замечание: В схему алгоритма процесса комплектования подшипников не вписывались громоздкие формулы, поэтому нам пришлось писать алгоритм словами.

С четвертым и шестым замечанием согласна.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Александр Николаевич, вас удовлетворяют ответы?

Оппонент – д-р техн. наук, профессор Семенов А.Н.

Да, спасибо.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Слово предоставляется официальному оппоненту, кандидату технических наук, профессору Шандрову Борису Васильевичу, пожалуйста.

Оппонент – канд. техн. наук, профессор Шандров Б.В.

Спасибо. Разрешите мне тоже коротко коснуться основных положений работы, подробно остановится на замечаниях.

Материал диссертации изложен в логической последовательности. Структура диссертации соответствует требованиям к кандидатским диссертациям. Работа направлена на повышение долговечности подшипников, которые являются одной из характеристик качества. Если учесть, что текущий метод признан специалистами мерками качества, следует признать тему данной актуальной. Путём проверенных исследований разработана математическая модель взаимодействия основных факторов в упорно-радиальных подшипниках с выходом на новую технологию сборки подшипников. Это свидетельствует и об научной новизне, и о практической ценности данной диссертационной работы. Достоверность полученных результатов диссертации и обоснованность сделанных научных выводов в работе не вызывает сомнений. Замечания по работе. Первое: в работе указывается, что одной из причин снижения долговечности подшипника является не предполагаемо высокая эксплуатационная нагрузка, однако, не указывается относительная величина этой нагрузки и возможная частота её появления. Второе: Из расчета технико-экономической эффективности использования результатов работы не совсем ясно, что является источником этой эффективности. Третье: в работе результаты исследования получены для одного вида упорно-радиального подшипника. Следовало бы рассмотреть возможности применения этих результатов на другие виды этих

подшипников. Четвертое: В работе нет сведений и приложений о коммерциализируемости предлагаемой технологии.

Высказанные замечания не затрагивают основных научных положений и практических результатов диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертация Е.В. Мухиной отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 –Технология машиностроения. А соискатель Мухина Елена Вячеславовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент- Шандров Борис Васильевич, заслуженный работник высшей школы, профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Московского политехнического университета. Спасибо за внимание!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Борис Васильевич! Елена Вячеславовна, пожалуйста ответы на замечания оппонента.

Соискатель Мухина Е.В.

Спасибо! На первый вопрос скажу, что нагрузка, воспринимаемая подшипником должна быть выше 9950Н. Частота возникновения нагрузки в реальных условиях встречается чаще. Поэтому значение грузоподъемности с изменением угла контакта увеличилось примерно на 40%.

По второму вопросу: Да, цена подшипников увеличена из расчета улучшения качества. В 5 главе диссертации я указываю, что экономический эффект от внедрения операции комплектования упорно-радиальных подшипников достигается за счет повышения его ресурса. Совместно с производителем подшипников на основе изучения спроса и предложений была определена экономическая эффективность предлагаемой технологии. Так же источником эффективности ООО «Рефмашпром» выделил сокращение трудоёмкости сборочной операции за счет снижения количества групп, на

которые делятся детали при комплектовании. Эта эффективность подтверждается результатами испытаний.

На третий вопрос: регулируемые параметрами при комплектовании упорно-радиальных подшипников являются: диаметры дорожек качения верхнего и нижнего колец, диаметр тел качения, радиусы профиля дорожек качения и угол контакта тел и дорожек качения.

На четвертый: Согласно с замечанием.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Борис Васильевич, Вас удовлетворяют ответы?

Оппонент –Канд. техн. наук, профессор Шандров Б.В.

Да, вполне, спасибо!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо большое! Теперь переходим к последней части нашего заседания. Кто хочет выступить? Я вижу, Леонид Викторович Худобин, пожалуйста!

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Я буду краток. Необыкновенный тут случай. Размерной цепи никакой не получается, потому что все зазоры выбраны, и вообще, говорить о каких-либо зазорах или радиальных или осевых не приходится. Дело в том, что, к сожалению, диссертант мало внимания уделила основной квинтэссенции своей работы, всё внимание совета сосредоточилась на математических моделях, как это обычно бывает, их анализе и интерпретации. Тогда, как практически, что указано в названии – технология комплектования – тут вопрос не ясен. Дело в том, что здесь один из вариантов классического случая селективной сборки. Или так называемое сборка по методу групповой взаимозаменяемости. Родилась идея давно, толкнуло к появлению этой идеи тяжелая экономическая ситуация в производстве, заставила расширить технологические допуски на изготовление деталей. А потом пришлось сортировать эти детали по экономически приемлемым допускам. Сортировать на группы с жесткими допусками, в рамках 1 группы с полной

взаимозаменяемостью внутри этой группы. Это именно та самая группа, который занималась многоуважаемая соискатель. Так что, мне представляется, что здесь всё в порядке. И всё решено на хорошем уровне. Модель, по-моему, разобрали по косточкам. Поэтому, я с чистой совестью считаю, что диссертация отвечает требованиям, а соискатель у нас вообще просто боец. Елена Вячеславовна попала в достаточно сложную ситуацию. Во-первых из-за эпидемии весь 2020 год выпал для неё. Мы давно получили в первый раз её документы. А потом ничего не могли с ними сделать. Наверное, были серьёзные причины чтобы образовался некоторый разрыв в исследованиях в 2017-2019 годах. Она свободно владеет материалом, на котором сосредоточена её диссертация. Поэтому я одобряю эту работу и буду голосовать за.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Леонид Викторович! Николай Васильевич Носов, пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Уважаемые коллеги! Я начну с того, что мне пришлось заниматься комплектацией и селективной сборкой на 4 ГПЗ, я много занимался селективной сборкой подшипников на долотном заводе, и мы как раз на долотном заводе использовали технологию комплектования по группам. Это обычное увеличение надежности, долговечности любого подшипникового узла и подшипника в целом. Поэтому я очень серьезно подошел к этой работе. Название очень большое, всё что связано со специальностью "Технология машиностроения" это четыре последних слова. совершенствование технологии сборки – вот, чего я не нашёл. У Вас обычная технология сборки. Положили кольцо, положили шарики, положили кольцо. Но вы же говорите о совершенствовании технологии сборки. Чего я не увидел совершенно. Поэтому я очень много спрашивал о замыкающем звене, о размерах, о размерных связях. Я на бумаге набросал размерную цепочку. Она очень простая. Да, не линейная, угловая. Но здесь какие параметры: отклонение от соосности одного кольца от другого, отклонение диаметра 1

кольца, и номера селективной сборки, отклонение шарика, тоже номер группы есть и номер допуска, отклонение нижнего диаметра кольца с точкой контакта. И так получается замкнутая цепь, и появляется замыкающее звено. Да, она может быть равно нулю, в идеале. Как раз тот случай, который вы приняли. Вы приняли схему, где отклонение от соосности равно 0, отклонение диаметра 1 группы селективной сборки, отклонение шарика одна группа. Всё завязано единичных параметрах. Как их совершенствовать, я не знаю. Если я посмотрю на эту угловую и линейную цепь я вижу угол  $\beta$ , я вижу тот самый угол  $\beta$ , которым вы занимались. Да, он может повлиять на грузоподъемность, да, вы это исследовали, Ну и прекрасно. Хорошо, что вы исследовали. Я просто показал Вам то, как надо было подойти к этой проблеме. И если Вашу модель решить через размерную цепь, Вы бы нашли эти параметры, всё было бы прекрасно. Никаких проблем нет. А так, Ваши ответы, и как вы держались, мне понравилась, и я с удовольствием буду голосовать за. Спасибо!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Николай Васильевич! Пожалуйста, Евгений Михайлович Булыжев.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е.М.

Спасибо! Работа на мой взгляд непростая. Очень хорошее положения правильные были изложены, чтобы упростить эту работу. Ориентация была на один шарик. По одному шариком пытались эту сложность отразить. Ибо допуск у всех постоянный. Получается такая картина, что, несмотря на все сложности, тот подшипник, у которого больше статическая нагрузка, лучше себя проявляет. Такое положение они провели через эту работу. Ну я не скажу, что работа лишена недостатков, Они, конечно, есть. Есть и грамматические недостатки, есть просто нелепости написаны. Это, наверное, спешили в подготовке материалов. Но это всё мелочи жизни. На мой взгляд работа хорошая, работа полезная. Насколько я понимаю, она позволит улучшить качество самых сложных изделий, которые используется в автомобилях. Я буду голосовать за. Спасибо!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Евгений Михайлович! Есть еще желающие? Нет. Елена Вячеславовна, Вам предоставляется заключительное слово.

Соискатель Мухина Е.В.

Хотелось бы сказать большое спасибо диссертационному совету, председателю и секретарю диссертационного совета, а также техническому секретарю. Хочу выразить благодарность своему научному руководителю, который на протяжении всего обучения в аспирантуре всегда направлял меня в работе, поддерживал и помогал!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Елена Вячеславовна!

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Переходим к голосованию. Прошу членов Совета проголосовать. Напоминаю, голосование открытое, и я опрошу всех членов Совета. Прошу членов Совета выражать голосование поднятием руки и ответа «за» или «против». Начнем с членов Совета, работающих дистанционно:

Николай Васильевич Носов? –За; Худобин Леонид Викторович? – За; Николай Михайлович Бобровский? –За; Александр Сергеевич Янюшкин? –За; Дмитрий Владимирович Лобанов? –За; Олег Владимирович Захаров? –За; Александр Федорович Денисенко? –За; Петр Федорович Зибров? – За; Олег Иванович Драчев? –За.

Все, кто участвует дистанционно, проголосовали. Всех, кто присутствует в зале, прошу проголосовать. Единогласно.

Таким образом, итоги голосования: 16 – «за», против – «нет». Диссертационный совет признает, что диссертация Мухиной Елены Вячеславовны содержит решение актуальной задачи повышения статической грузоподъемности упорно-радиальных подшипников, имеющей существенное значение для повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 – 14 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и присуждает Мухиной Елене Вячеславовне ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.08 - Технология машиностроения (технические науки).

Остался последний этап – проект заключения. У членов Совета имеется проект заключения. Есть предложение принять его за основу. Прошу проголосовать. За? Единогласно.

*Обсуждение заключения*

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть предложение принять проект заключения в целом с учетом высказанных замечаний. Если нет возражений, прошу голосовать. Принимается единогласно.

*Заключение диссертационного совета объявляется соискателю*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО  
СОВЕТА Д999.003.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 25.12.2020 г. № 62

О присуждении Мухиной Елене Вячеславовне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение статической грузоподъемности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке», по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, принята к защите 22.10.2020 г., протокол №60, объединенным диссертационным советом Д999.003.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Ульяновский государственный технический университет» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Тольяттинский государственный университет», Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующим на основе приказа №123/нк от 17.02.2015г.

Соискатель Мухина Елена Вячеславовна, 1992 года рождения, в 2014 году окончила ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический

университет имени Гагарина Ю.А.» по специальности «Технология машиностроения». В 2018 году соискатель окончила аспирантуру с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» по направлению 15.06.01 – Машиностроение.

Работает ассистентом кафедры «Технология и системы управления в машиностроении» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Министерства науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения» в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор, Королев Андрей Альбертович, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра «Технология и системы управления в машиностроении», профессор.

Официальные оппоненты:

Семенов Александр Николаевич – д-р техн. наук, ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения», профессор;

Шандров Борис Васильевич – канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра «Технологии и оборудование машиностроения», профессор.

дали свои положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», Министерства науки и высшего образования

РФ, г. Пенза, в своем положительном заключении, рассмотренном на заседании кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», подписанном канд. техн. наук, доцентом, доцентом кафедры «Технология машиностроения» В.В. Голубовским и утвержденном ректором ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», д-ром техн. наук Д.В. Пащенко, указала, что диссертация Е.В. Мухиной является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится научно-обоснованное решение важной практической задачи создания технологии комплектования шариковых подшипников, позволяющее существенно повысить их статическую грузоподъёмность. Работа выполнена на достаточно высоком научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым задачам. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 05.02.08 – Технология машиностроения. Диссертационная работа Мухиной Е.В. на тему «Повышение статической грузоподъёмности упорно-радиальных шариковых подшипников передней стойки автомобилей путем совершенствования технологии их комплектования при сборке» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, уровню и объёму выполненных исследований удовлетворяет требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Мухина Елена Вячеславовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08-«Технология машиностроения».

Соискатель имеет 24 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе: 5 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, 2 из которых индексируются в МБД SCOPUS, получен 1 патент на изобретение и 2 патента на полезную модель.

Работы посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса формирования угла контакта тел и дорожек качения в шариковом подшипнике и его влияния на статическую грузоподъемность при комплектовании. Авторский вклад составляет 2,55 п.л., в общем объеме научных изданий 7,8 п.л.

Научные работы соискателя отражают результаты проведенного исследования и раскрывают основные положения, выносимые на защиту. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Научные труды представлены статьями в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, из базы цитирования Scopus, материалах научных конференций и патентами на изобретения. Наиболее значимые научные работы соискателя из числа опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Королев, А.В. Современный метод комплектования прецизионных изделий типа подшипников качения [Текст] / А.В. Королев, А.А. Королев, Е.В. Мухина // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 1. – С. 42 - 44. – 0,56 п.л. / авт. 0,19 п.л.

2. Королев, А.В. Влияние условий комплектования на собираемость подшипников при стохастическом способе / А.В. Королев, А.А. Королев, Е.В. Мухина // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2015. – № 4. – С.21 - 24. – 0,56 п.л. / авт. 0,19 п.л.

3. Королев, А.В. Влияние остаточных деформации в деталях после абразивной обработки и центробежной очистки на качество сборки шарнирных подшипников / А.В. Королев, Е.В. Мухина, А.А. Королев, [и др.] // СТН. – 2016. – №6. – С.30-32. – 0,56 п.л. / авт. 0,06 п.л.

4. Королев, А.В. Влияние условий комплектования упорного подшипника качения на его статическую грузоподъемность / А.В. Королев, А.А. Королев, Е.В. Мухина [и др.] // СТН. – 2016. – №. 7. – С. 35 - 40. – 1,12 п.л. / авт. 0,12 п.л.

5. Королев, А.В. Влияние точности тел качения на эффективность сборки упорно-радиальных шарикоподшипников / А.В. Королев, А.А. Королев, Е.В. Мухина [и др.] //СТИН. – 2016. – №6. – С.32- 34. – 0,56 п.л. / авт. 0,08 п.л.

6. Korolev A.V., Mukhina E.V., Korolev A.A., Davidenko O.Y., Iznairov B.M., Vasin A.N., Balaev A.F., Yakovishin A.S., Mazina A.A., Sidorenko A.D., Savran S.A., Konovalov V.V. Influence of residual deformation after abrasive machining and centrifugal finishing on ball-bearing assembly // Russian Engineering Research. – 2016. – Т. 36. –№ 12. – С. 1054-1055. – 1,12 п.л. / авт. 0,12 п.л.

7. Korolev A.V., Yakovishin A.S., Korolev A.A., Davidenko O.Y., Iznairov B.M., Balaev A.F., Mukhina E.V., Mazina A.A., Sidorenko A.D., Savran S.A., Konovalov V.V. // Influence of ball precision on the assembly of radial thrust ball bearings //Russian Engineering Research. – 2016. – Т. 36. –№ 12. –С. 1056-1057. – 0,56 п.л. / авт. 0,08 п.л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Отзыв ведущей организации** – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», подписанный канд. техн. наук, доцентом, доцентом кафедры «Технология машиностроения» В.В. Голубовским и утвержденном ректором ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», д-ром технических наук Д.В. Пашенко. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Не четко обозначены регулируемые параметры при комплектовании упорно-радиальных подшипников. 2. В автореферате показаны не все экспериментальные зависимости угла контакта и статической грузоподъемности от комплектовочных параметров. 3. При выводе математической модели распределения нагрузки в подшипнике нет единиц измерения в правой и левой частях уравнений (см. зависимости 2.6-2.9, 2.14, 2.18, 2.19 и т.д.), что не позволяет определить правильность их вывода. 4. Используется несоответствующая СИ относительно общепринятой технической литературе терминология (см. Заключение на с.102 «снижает

надежность работы подшипника», «близкого к максимальному критическому значению»).

**2. Отзыв официального оппонента** – Семенова Александра Николаевича, д-ра техн. наук, профессора кафедры «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Задачи исследования, отражающие последовательность достижения цели, поставленной во введении, оторваны от нее и приведены в конце первой главы. 2. На стр.3 написано, что «Из всех стандартов только ГОСТ 29241-91 предусматривает возможность применения упорно-радиального подшипника серии 7800», в то время как ссылки на данные типы подшипников также имеются в ГОСТ 3395-89 Подшипники качения. Типы и конструктивные исполнения, ГОСТ 9942-90 Подшипники упорно-радиальные роликовые сферические одинарные. Технические условия, ГОСТ 520-2011 Подшипники качения. Общие технические условия. 3. Очень емкие, сложные и насыщенные названия подразделов основных глав, которые следовало бы разбить на более мелкие и глубокие по содержанию составные части, четко отражающие поставленные и решаемые задачи. 4. В ф-ле 2.1 обозначения осевой и радиальной нагрузок выполнено одинаково  $p_t$  (максимальные значения взаимно перпендикулярных нагрузок, воспринимаемых упорно-радиальным подшипником), в то время как на рисунках они имеют соответствующие индексы  $p_o$  и  $p_r$ . 5. В ф-ле 2.2 приведен коэффициент  $s$  как неизвестное число, которое находится путем решения системы уравнений, в то время как у него должен быть физический смысл, поскольку на его основе рассчитываются коэффициенты осевой и радиальной нагрузки, и этот коэффициент входит в индексы коэффициентов нагрузок «Важно учесть, что величина должна находиться в диапазоне  $0_1$ , так как только при таком соотношении соблюдается неразрывность контакта шариков». 6. Опечатки в задании начальных условий эксперимента: диаметр дорожки качения верхнего кольца

подшипника: 85,5 мм, Твердость по Бринеллю, 3999 МПа. 7. Испытания 5 групп подшипников проводилось по однофакторному эксперименту- лучше проводить по теории планирования экспериментов с получением регрессионной модели. 8. В таблицу 3.2 одновременно сведены условия проведения экспериментов и результаты по проверке адекватности по СКО – нет описания способа подтверждения достоверности результатов и точности экспериментов. 9. П. 4.1 Алгоритм процесса комплектования сводится к письменному описанию процесса комплектования, не позволяющая рассчитать и запрограммировать процесс комплектования, в то время как имеется четкая стандартизованная формулировка: «Схемы алгоритмов ... состоят из имеющих заданное значение символов, краткого пояснительного текста и соединяющих линий».

**3. Отзыв официального оппонента – Шандрова Бориса Васильевича –** канд. техн. наук, профессора, профессора кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В работе говорится о возможности применения технологии комплектования для многообразия типов подшипников качения, воспринимающих комбинированную нагрузку, но и теоретическая и практическая части исследования посвящены изучению упорно-радиальным подшипникам, используемых в стойке автомобиле. Следовало бы рассмотреть и другие варианты, например, упорно-радиальные подшипники, и сравнить полученные результаты. 2. В главе 5 диссертации приведен расчет технико-экономической эффективности использования в реальном производстве полученных в работе результатов, но недостаточно четко показаны источники этого экономического эффекта. Казалось бы, что основным источником экономической эффективности должна быть возможность повышения цены подшипников за счет увеличения их качества, повышения статической грузоподъемности. Но этими возможностями автор пренебрегает. Поэтому требует пояснения, каким образом введение в производство технологического

процесса комплектования приводит к экономическому эффекту. 3. Не четко обозначены регулируемые параметры при комплектовании подшипников. 4. Нет сведений и приложений о коммерциализации предлагаемой технологии.

4. **ОТЗЫВ ИЗ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»**, г. Новосибирск, подписанный д-ром техн. наук, профессором кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Ильиных Андреем Степановичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Целесообразно привести в тексте автореферата рабочую схему и описание устройства для засыпки шариков в подшипник при сборке, а также спроектированную автором схему автоматической сборочной линии; 2. Неубедительно заявление автора об экономическом эффекте предложенной технологии за счет повышения цены и объема ее продаж.

5. **ОТЗЫВ ИЗ ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**, г. Брянск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, проректором по перспективному развитию Киричек Андреем Викторовичем и д-ром техн. наук, профессором, Титенок Александром Владимировичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. На стр.6. автореферата изложено «... что все существующие способы сборки подшипников основаны по методике выбора типа подшипников по критерию статической и динамической грузоподъемности». В этой связи не ясно, почему соискатель исследовал лишь возможность повышения статической грузоподъемности. 2. С.10. Из материалов автореферата не ясно, какие значения имеет коэффициент Пуассона: справочные для конкретного вида металла или определенные экспериментально для данного вида материала подшипника. Как это повлияет на результаты компьютерного моделирования 3. С. 15. Из материала автореферата не понятно, что влияет на 10-процентное удорожание изделия. Это волюнтаристическое решение или чем-то обосновано? 4. В материалах автореферата упоминается о схеме

автоматической линии для комплектования подшипников, но сама схема не представлена.

6. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**, г. Новосибирск, подписанный канд. техн. наук, доцентом, и.о. зав. кафедрой «Технологии машиностроения» Никитиным Юрием Владимировичем и канд. техн. наук, доцентом, доцентом кафедры «Технологии машиностроения» Гилета Виктором Павловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1) В работе не отмечен зарубежный опыт совершенствования технологии комплектования и сборки подшипников качения. 2) Второе замечание по автореферату связано с потребностью широкого использования результатов работы при производстве подшипников - возможно ли использовать предлагаемую математическую модель или программный продукт для других изделий?

7. Отзыв из **АО «Ульяновский механический завод»**, г. Ульяновск, подписанный канд. техн. наук, инженером-конструктором 1-й категории Цыганковым Денисом Эдуардовичем и заверенный начальником управления по сопровождению производства Рябовым Д.В. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Отсутствие ссылок на иностранных ученых, занимающихся вопросами комплектования и распределения нагрузки между деталями подшипников. 2. Не раскрывается суть методики Королева А.А. и А.В. для расчета максимальной нагрузки на шарики, как принятое допущение при построении математической модели (стр.7). 3. Некорректное представление выходных данных объектов интеллектуальной собственности – патентов на полезные модели и изобретение (страница 16).

8. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»**, г. Омск, подписанный д-ром техн. наук, профессором, профессором кафедры «Технология машиностроения» Моргуновым Анатолием Павловичем. Отзыв положительный со следующим замечанием: «В автореферате в разделе «Практическая ценность и реализация работы»

автор отметил, что спроектирована схема автоматической сборочной линии (п.4), но, в тексте автореферата она не изображена.»

9. **ОТЗЫВ ИЗ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»**, г. Тамбов, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, профессором кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» Соколовым Михаилом Владимировичем. Отзыв положительный без замечаний.

10. **ОТЗЫВ ИЗ ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»**, г. Тюмень, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заслуженным работником высшей школы РФ, заведующим кафедрой «Станки инструменты» Артамоновым Евгением Павловичем. Отзыв положительный со следующим замечанием: «...мелкие и плохо читаемые обозначения на графиках и рисунках автореферата».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в области разработки технологий сборки и соединения высокоточных изделий таких как подшипники качения, 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 ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработано** научно- обоснованное техническое решение, направленное на повышение статической грузоподъемности подшипников качения, работающих в условиях комбинированной нагрузки;

**предложен** путь повышения статической грузоподъемности подшипников качения, работающих при комбинированной нагрузке, на основе применения усовершенствованной технологии процесса комплектования, позволяющей определить рациональные диапазоны значений комплектовочных параметров;

**доказана** эффективность предлагаемого способа и технологии, в результате которых происходит повышение статической грузоподъемности упорно-радиального подшипника и снижение момента сопротивления качению подшипника;

**новые понятия и термины** не вводились.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что:

**доказаны** положения, вносящие вклад в расширение представлений о характере влияния угла контакта тел и дорожек качения на статическую грузоподъемность при комбинированной нагрузке, расширяющие границы применимости полученных результатов

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы** технологии машиностроения, системного математического анализа, математического аппарата теории математической статистики и теории множеств.

**изложено** описание методик измерения угла контакта тел и дорожек качения, статической грузоподъемности, момента сопротивления вращению в шариковом подшипнике и описание модели формирования рационального угла контакта при комплектовании, при достижении которого обеспечивается повышенная статическая грузоподъемность;

**раскрыты** на основе разработанных моделей и алгоритмов особенности выбора значений комплектовочных параметров при сборке подшипника, с целью достижения повышенной статической грузоподъемности;

**изучены** связи и закономерности влияния геометрических параметров шарикоподшипника на статическую грузоподъемность и момент сопротивления вращению;

**проведена модернизация** существующих математических моделей, схем расчетов и методики выбора угла контакта в области комплектования подшипников качения, работающих в условиях комбинированной нагрузки.

**Значения полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** новый способ и технология комплектования шариковых подшипников, новое устройство для определения статической грузоподъемности упорно-радиальных шарикоподшипников и метод контроля угла контакта тел и дорожек качения шарикоподшипника, находящегося под комбинированной нагрузкой;

**определены** перспективы практического использования полученных результатов диссертационного исследования для повышения статической грузоподъемности различных типов подшипников.

**создан** алгоритм и программа расчета рациональных значений комплектовочных параметров шарикоподшипников при сборке;

**разработана** схема автоматическая линия сборки упорно-радиальных подшипников;

**представлена** и передана, для использования в производственных условиях ООО «Рефмашпром» «Рабочая инструкция по обеспечению в процессе комплектования подшипника 1118-2902840 рационального угла контакта».

**Оценка достоверности результатов исследований выявила:**

**для экспериментальных работ** использованы современные измерительные средства, результаты получены на сертифицированном оборудовании, использованы стандартные методики проведения экспериментов, установлена сходимость теоретических и экспериментальных результатов;

**теория** построена на существующих представлениях о процессах комплектования точных изделий при сборке и на известных проверяемых теоретических и экспериментальных данных по теории упругости;

**идея** комплектования упорно-радиальных подшипников по критерию статической грузоподъемности базируется на анализе известных публикаций и практического опыта комплектования и сборки точных деталей;

**использовано** сравнение данных, полученных автором, с данными, полученными ранее М.Н. Сорокиным, А.В. Королевым и др., по тематике диссертации;

**установлено совпадение** полученных данных с известными результатами, представленными в научно-технической литературе;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, и авторская методика измерения статической грузоподъемности подшипника при комбинированной внешней нагрузке.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- включенном участии на всех этапах процесса, определении цели, задач, непосредственном выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы: **разработке математической модели** формирования угла контакта тел и дорожек качения и его влияния на статическую грузоподъемность, **разработке компьютерной модели** процесса формирования статической грузоподъемности упорно-радиального шарикоподшипника при комплектовании и сборке, **разработке плана экспериментальных работ** и проведении промышленного эксперимента в условиях действующего производства, обработке, интерпретации и обобщении полученных данных, апробации и внедрении результатов исследования на предприятиях, а также подготовке основных публикаций по выполненной работе.

**Результаты исследований рекомендуется использовать:**

**на предприятиях машиностроительной отрасли, занимающихся производством упорно-радиальных и радиально-упорных подшипников, особенно специальных подшипников, для которых известна внешняя эксплуатационная нагрузка;**

**проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтах, занимающихся разработкой и созданием новой техники;**

**в высших учебных заведениях при подготовке специалистов, бакалавров и магистров направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».**

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований и основной идейной линии, взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

На заседании 25 декабря 2020 г., проходившем в удаленном интерактивном режиме, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи повышения статической грузоподъемности упорно-радиальных подшипников, имеющей существенное значение для повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями.

Работа соответствует критериям, установленным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет принял решение присудить **Мухиной Елене Вячеславовне** учёную степень **кандидата технических наук** по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, проводивший заседание в удаленном интерактивном режиме, из них 9 человек, участвующих в заседании дистанционно, в том числе 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени - 16, против присуждения учёной степени - нет, воздержавшихся - нет.

Председатель

диссертационного совета

д-р техн. наук, профессор

Ученый секретарь

диссертационного совета

д-р техн. наук, доцент

Табаков Владимир Петрович

Веткасов Николай Иванович

« 11 » января 20 21 г.

