



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «УГАТУ»)

К. Маркса ул., д. 12, г.Уфа, 450008. Тел.: (347) 272-63-07; факс: (347) 272-29-18, e-mail: [office@ugatu.su](mailto:office@ugatu.su); <http://www.ugatu.su>  
ОКПО 02069438, ОГРН 1030203899527, ИНН/КПП 0274023747/027401001

\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

“УТВЕРЖДАЮ”  
И.о. ректора  
ФГБОУ ВО “УГАТУ”,  
д.т.н., профессор

Р.Д. Еникеев

11 2020 г.



О Т З Ъ І В

ведущей организации на диссертационную работу Иззатуллоева Мубориза Акрамхоновича «Оптимизация микрогеометрических параметров гидродинамических трибосопряжений поршневых машин», представленную на соискание ученої степени кандидата технических наук по специальности: 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

### 1. Актуальность темы исследования

Решение проблемы повышения ресурса поршневых машин и, в частности, в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) непосредственно связано со снижением потерь энергии на преодоление трения в элементах систем, механизмов и сложнонагруженных трибосопряжений (ТС). Снижение потерь энергии на преодоление трения достигается уменьшением механических потерь за счет ограничения уровня нагруженности трущихся поверхностей, увеличением доли жидкостного режима трения для наиболее критичных по надежности ресурсоопределяющих сложнонагруженных ТС. Для сложнонагруженных ТС свойственны переменные по времени и величине действующие нагрузки, при которых положение подвижного элемента в сопряжении характеризуется высокими значениями эксцентриситетов. К таким сложнонагруженным ТС относят коренные и шатунные подшипники коленчатого вала, сопряжения «направляю-

щая поршня – гильза цилиндра» и «поршневое кольцо – гильза цилиндра», опорные и упорные подшипники турбокомпрессора и т. п. Одним из способов снижения масляного голодания является текстурирование контактирующих поверхностей, которое позволяет увеличить несущую способность сложнонагруженного подшипника за счет создания множества «микроклиньев». В частности, текстурирование поверхности вкладышей подшипников коленчатого вала может выполняться в виде эллиптических микроямок, которые позволяют сохранять масло на поверхности трения при любых режимах работы поршневой машины.

Таким образом, тема диссертационного исследования Иззатуллоева М.А. является актуальной, а его результаты имеют большой теоретический и практический интерес.

## **2. Оценка структуры и содержания работы**

Диссертация Иззатуллоева М.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 157 страниц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, ее научная новизна, сформулированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** представлен обзор публикаций по основным видам микротекстурирования поверхностей трения ТС. Приведен обзор литературы по известным методикам расчета.

Одним из основных рассматриваемых вопросов является необходимость исследования влияния макро- и микротекстурирования поверхности трения трибосопряжений на трибологические характеристики.

Показано, что при выборе конструктивных, в том числе микрогеометрических параметров подшипников, целесообразно использовать методы многопараметрической оптимизации, которые позволяют учесть совместное влияние различных факторов и в итоге получать конструкцию с «заданным качеством».

**Вторая глава** посвящена разработке методики численного моделирования динамики и смазки гидродинамических трибосопряжений поршневых машин с учётом макро- и микрогеометрии поверхностей трения.

**В третьей главе** представлены экспериментальные исследования влияния параметров регулярной микрографии поверхностей трения на триботехнические характеристики сопряжения «вал-втулка». Выполнена проверка адекватности разработанной математической модели.

Исследование базировалось на анализе диаграмм Герси-Штрибека для подшипника скольжения, соответствующего по своим геометрическим характеристикам шатунному подшипнику коленчатого вала двигателя ВАЗ 21083. Диаграмма Герси-Штрибека является очень удобной для анализа влияния на работу подшипников скольжения различных факторов, таких как регулярная и нерегулярная микрография поверхностей трения, свойства смазочного материала и др.

**В четвертой главе** представлены результаты параметрических исследований гидромеханических характеристик сложнонагруженных подшипников скольжения.

Для расчетного анализа радиальных подшипников скольжения на базе разработанных методик создана программа трибологического анализа «Микрография трибосистемы «вал-вкладыш» двигателя внутреннего сгорания»

Для расчетного анализа гидродинамического трибосопряжения «направляющая поршня – цилиндр» ДВС на базе разработанной методики расчетного анализа трибосопряжений с поступательным движением подвижных элементов была создана программа трибологического анализа «Микрография трибосистемы «поршень – цилиндр»»

**В пятой главе** приводится методика и результаты решения оптимизационной задачи ТС поршневых машин.

Представлен программный комплекс «Микро-оптим», созданный на основе разработанных методов и алгоритмов решения задач динамики и смазки ТС.

**В заключении** приводятся итоги выполненной работы. В приложении помещены результаты параметрических исследований; свидетельства о регистрации разработанных комплексов программ; акты, подтверждающие использование и внедрение результатов работы.

Тема диссертационной работы, сформулированные в ней цель и задачи исследования соответствует паспорту специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин. Перечисленные в заключении основные результаты соответствуют цели и задачам исследования.

Содержание диссертации изложено в логически последовательной форме. Все положения работы, результаты и выводы нашли отражение в тексте диссертации, представленной к защите.

В тексте диссертации сделаны необходимые ссылки на авторов и источники, где опубликованы использованные в работе материалы и отдельные результаты; при использовании идей и результатов, полученных в соавторстве, в тексте диссертации имеются соответствующие указания, как и указания в отношении научных работ, выполненных соискателем единолично. На все источники библиографического списка имеются ссылки из текста диссертации.

Содержание автореферата полностью соответствует диссертации в части основных положений, этапов работы, результатов и выводов.

Публикации соискателя в полной мере отражают наиболее значимые положения работы, сделанные выводы и рекомендации. Результаты работы также в полной мере отражены в публикациях автора в рецензируемых научных изданиях, в т.ч. входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science, и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Диссертация написана литературным языком с использованием общепринятой терминологии и обозначений. Стиль изложения ясный и четкий, соответствующий требованиям, предъявляемым к научно-исследовательским работам. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК к кандидатским диссертациям. Замечаний по оформлению диссертации и автореферата нет.

Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно на достаточноном научном уровне и представляет собой завершенную работу.

### **3. Научная новизна работы**

Научную новизну диссертационной работы Иzzатуллоева М.А. определяют следующие результаты:

- предложена методика многокритериальной оптимизации с использованием ЛП
- поиска для параметров регулярной микрогоометрии поверхности сложнонагруженных трибосопряжений, позволяющая рассчитать гидромеханические характеристики (ГМХ) трибосопряжения с различными типами регулярного текстурирования, обеспечивающих минимальные потери на трение и наибольшую несущую способность смазочного слоя;
- установлены зависимости между трибологическими и регулярными макро- и микрогоометрическими параметрами сложнонагруженных трибосопряжений, позволяющие на этапе проектирования обоснованно подбирать расположение зон и параметры текстурирования поверхностей трения.

### **4. Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

Разработано методическое и программное обеспечение по оптимизации микрогоометрических параметров поверхностей трения основных гидродинамических трибосопряжений поршневых машин.

В Федеральной службе по интеллектуальной собственности зарегистрированы пакеты прикладных программ: «Микрогоометрия трибосистемы поршень-цилиндр» (№2018663437), «Микрогоометрия трибосистемы «вал-вкладыш» двигателя внутреннего сгорания» (№2019664243), «Микро-оптим» (№2020660864), «Программа моделирования теплового состояния трибосопряжений» (№2019612892).

Применение разработанных методического и программного обеспечения для расчета сложнонагруженных подшипников позволило оценить влияние на их гидромеханические характеристики конструктивных факторов, обосновать рекомендации по совершенствованию основных гидродинамических трибосопряжений поршневых машин.

## **5. Степень достоверности результатов исследования**

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректной постановкой задач, строгостью используемого математического аппарата, обоснованностью принятых допущений, применением хорошо известных численных методов; подтверждается качественным и количественным совпадением полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными результатами.

Основные результаты доложены и обсуждены на конференциях различного уровня: «15th International Conference on Tribology» (Kragujevac, Serbia, 17-19 May 2017), «13th International Conference on Tribology, BULTRIB '18» (October 25-27, 2018, Sofia, Bulgaria), «XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2018)»: (Москва, 20-23 ноября 2018)», на ежегодных научных конференция аспирантов и докторантов и конференциях профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ (Челябинск, 2017 – 2020).

По теме диссертации опубликовано 13 научных трудов, включая 2 статьи в научных сборниках и журналах, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в библиографической базе данных Scopus, 3 – в материалах конференций, 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Полученные в диссертационной работе Иzzатуллоева М.А. теоретические положения и результаты экспериментальных исследований новых научно обоснованных технических и технологических перспективных решений позволяют:

- обеспечить решение комплекса задач по оптимизации макро- и микрогеометрических параметров основных гидродинамических трибосопряжений поршневых машин, направленных на снижение потерь на трение и повышения их несущей способности,
- создавать и модифицировать конструкции сложнонагруженных трибосопряжений поршневых машин различного типа, в том числе, на основе многокритериального оптимизационного подхода, используя приведенные в диссертационной работе рекомендации.

## **7. Замечания по диссертационной работе**

1. Большая часть публикаций посвящена теоретическому исследованию при расчете гидромеханических характеристик трибосопряжений поршневых машин, микро- и макропрофилированию и текстурированию поверхностей трения. Автор не уделил должного внимания вопросам экспериментального подтверждения необходимости применения разрабатываемых методик.
2. Избранный метод оптимизации, по нашему мнению, является перспективным, но требует высочайшей квалификации эксперта. В диссертации следовало больше внимания уделить описанию технологии работы экспертов.
3. Автором в третьей главе предложена методика экспериментальных исследований, включающая оценку параметров шероховатостей поверхностей трения, однако, в расчетной методике эти параметры не учтены. В связи с этим не ясно насколько адекватно сравнение экспериментальных и теоретических результатов, представленных на рисунке 3.19.
4. Автор не привел анализ, какой вклад в повышение надежности вносят оптимальные макро- и микрогеометрические параметры поверхностей трения трибосопряжений поршневых машин и, в частности, подшипников ДВС.
5. Следовало бы провести сравнительную оценку стоимости предлагаемых автором мероприятий.

## **Заключение**

Несмотря на отмеченные недостатки, рассмотренная диссертационная работа Иззатуллоева М.А. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в ней приведено решение научного вопроса текстурирования контактных поверхностей, позволившее снизить энергетические затраты на трение, которое имеет существенное значение для совершенствования технических систем, что соответствует требованиям действующего Положения «О присуждении ученых степеней» ВАК РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор - Иззатуллоев Мубориз Акрамхонович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Отзыв обсужден на заседании кафедры Основ конструирования и механизмов машин ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (протокол № 4 от «30» октября 2020 г.)

**Отзыв составлен**

доктор техн. наук,  
профессор кафедры основ  
конструирования механизмов и машин  
ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный  
технический университет»



“19” 11 Шустер Л.Ш.  
2020 г.

Докторская диссертация Шустера Левы Шмульевича защищена  
по специальности 05.02.04 - Трение и износ в машинах

Адрес организации: 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

Рабочий телефон: +7(347)2730734

Адрес эл. почты: okmim@ugatu.ac.ru