

*В диссертационный совет Д 218.010.02 ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения» 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д.2*

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента

на диссертационную работу Мукутадзе Мурмана Александровича на тему «Разработка системы расчетных моделей подшипников на основе развития гидродинамической и реодинамической теории смазки», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, 9 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 476 страницах текста, содержит 8 таблиц, 164 рисунка, 10 приложений и 329 наименований использованной литературы.

### **Актуальность темы диссертационного исследования.**

Осуществляемое автором рецензируемой диссертационной работы развитие научных положений и создание методов повышения несущей способности, эксплуатационной надежности, ресурса ответственных узлов трения благодаря своей важности включено в «Программу фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 2237-р от 03.12.2012). В частности, раздел 29 Программы «Триботехника и износостойкость высоконагруженных элементов машин», включает разработку методов повышения триботехнических свойств машин и машинных комплексов в штатных и аварийных ситуациях и практических рекомендаций по созданию принципиально новых узлов трения.

Создание теоретической базы, необходимой для решения этих проблем, представляет исключительную сложность, что подтверждается содержанием раздела 3, упомянутой выше программы «Математическое моделирование», одной из целей выполнения которого является разработка моделей и алгоритмов оптимизации конструкций технических устройств различного назначения, в том числе триботехнических систем.

Поскольку диссертационная работа М.А. Мукутадзе направлена на решение этих фундаментальных научных проблем она, безусловно, является актуальной и ожидаемо востребованной. Ее актуальность обусловлена масштабностью и широтой спектра поставленных и в значительной степени решенных теоретических задач. Результатом этих решений явилось создание научно обоснованной базы для рационального проектирования триботехнических узлов различного назначения и открывающимися перспективами совершенствования технологий их производства. Необходимость создания такой базы обусловлена тем, что широко

используемые узлы трения, в которых применяются подшипники скольжения, обладают рядом существенных недостатков, которые до настоящего времени не устранены.

В то же время эффективность работы изделий современной машиностроительной промышленности во многом определяется техническим уровнем используемой техники, в которой особая роль принадлежит подшипниковым узлам, надежность которых в значительной степени определяет уровень работоспособности изделий.

Это, прежде всего, связано со сложностью обеспечения устойчивой работы машин в широком диапазоне скоростей и нагрузок, в химически активных средах и т.д. При этом недостаточная износостойкость несущих поверхностей во многих случаях уменьшает их ресурс, что в значительной степени снижает эксплуатационные показатели, надежность и экологическую безопасность многих видов машиностроительной продукции.

Несомненным достоинством работы является то, что предложенные автором методы научного исследования, установленные им закономерности, разработанные модельные представления, расчетные методики и технические решения могут быть распространены на широкий класс узлов трения машин, используемых в различных отраслях машиностроительного комплекса. Выше изложенное позволяет сделать заключение о высокой актуальности рецензируемой диссертации.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Анализ содержания диссертации и, опубликованных по ее теме работ, свидетельствует, что автором на основе корректного использования принципов и методов гидродинамики широкого круга смазочных жидкостей, численных методов решения нелинейных алгебраических уравнений, методов конструирования автомодельных решений формулируемых уравнений движения смазки, методов моделирования течений жидкости в пористых средах, планирования эксперимента и современных способов получения экспериментальных данных методологически обоснованно проведено комплексное исследование, включающее в себя совокупность решения теоретических, методологических и практических задач, обеспечивающих создание новых схем подшипников скольжения, новых видов смазывающих материалов и способов их подачи в зону трения.

Это позволило создать теоретические основы устранения многих из недостатков, присущих применяемым в настоящее время подшипникам скольжения. При этом автором была научно обоснована и предложена широкая совокупность современных технологий проектирования, позволяющих обеспечить оптимизацию триботехнических процессов при фрикционном взаимодействии функциональных поверхностей подшипников скольжения.

Достаточно высокая степень согласованности полученных теоретических выводов с результатами экспериментов подтверждают обоснованность сформированных автором научных положений и выводов.

Таким образом, целесообразное использование авторитетных в инженерном и научном сообществах источников информации, значительный объем выполненных автором исследований, внедрение их результатов в производство, подтвержденное документально, подтверждают обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. На основании вышесказанного считаю, что диссертационная работа М. А. Мукутадзе - актуальна, содержит в себе решение важных теоретических и практических задач, направленных на повышение технико-экономической эффективности эксплуатации узлов трения широкого круга машин и оборудования.

Не вызывает сомнения высокий **личный вклад автора диссертации** в развитие теорий гидродинамической и реодинамической смазки и разработку системы расчетных моделей подшипников скольжения, крайне необходимых для создания новых типов триботехнических узлов машин и оборудования повышенной работоспособности, обладающего высокими технико-экономическими показателями.

#### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.**

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью разработанных моделей, целесообразным и широким использованием положений базовых фундаментальных наук, сходимостью результатов теоретических исследований с экспериментальными и эксплуатационными данными, полученными при лабораторных исследованиях и в процессе натурных испытаний, а также широкой апробацией результатов исследований в условиях подконтрольной эксплуатации различных видов техники.

#### **Научная новизна результатов работы.**

Основными научными результатами диссертационной работы автора можно считать создание им комплекса уточненных расчетных моделей радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников скольжения, эксплуатируемых в условиях гидродинамики, при учете специфики таких физико-механических свойств применяемых смазочных материалов, как сжимаемость, вязкоупругость, вязкопластичность, стратифицируемость, а также результаты моделирования перспективных трибосистем, включающих смазывание стратифицированными смазочными материалами с различной природой отдельных слоев, в том числе, смазывание подшипников металлическими расплавами.

Научная новизна диссертации также заключается в создании методологии получения системы теоретических моделей широкой совокупности видов подшипников скольжения, эксплуатируемых в различных условиях смазывания, при различных способах подачи смазочных материалов в зону трения, позволяющей обеспечить развитие гидродинамической и

реодинамической теории смазки, более достоверно оценивающей роль процессов, протекающих при эксплуатации подшипников скольжения.

Важность создания разработанной в диссертации системы научно обоснованных теоретических моделей подшипников скольжения обусловлена ограниченными возможностями анализа гидромеханических процессов в тонких зазорах методами конечных элементов и конечных разностей, и в первую очередь сложностью экспериментального исследования микромеханики процессов трения, развивающихся в зазоре, не позволяющей получать по результатам экспериментов эмпирические модели этих процессов и использовать их для конструкторско-технологических расчетов новых видов подшипников скольжения. Эти обстоятельства обосновывают научную актуальность комплекса исследований, выполненных автором, и предложенных им технических решений.

Результаты исследования убедительно подтвердили высокую эффективность и широкую область применения развитого подхода к решению задач триботехники на основе использования автомодельных переменных. Полученные автором теоретические модели рассмотренных трибосистем впервые корректно и с достаточной полнотой учитывают вязкопластичность, сжимаемость, стратификацию применяемых смазочных материалов, а также пространственную анизотропию пористых материалов вкладышей, что позволило предложить оригинальные технические решения для радиальных и радиально-упорных подшипников, обеспечивающих увеличение несущей способности, конструкционного демпфирования, ресурса и улучшение технологичности обслуживания трибоузла за счет повышения маслоемкости поверхности трения.

Важным научным результатом исследований является установление для подшипника скольжения, работающего с перекосом вала, рациональной схемы подачи смазки в зону трения и получение теоретических зависимостей для выявления степени изменения несущей способности, вызываемой таким перекосом.

Таким образом, выдвинутые соискателем теоретические и методологические положения, а также сформированные им выводы и научные положения являются новыми.

### **Практическая значимость работы.**

Практическая значимость диссертации заключается в создании и развитии необходимых основ и предпосылок для производственного использования следующих ее основных результатов.

1. Расчетные модели подшипников с многослойными пористыми элементами, смазываемых расплавами металлов и смазочными материалами с различными свойствами стратифицированных слоев, а также с трехслойной стратификацией, которые обеспечивают возможность создания новых высокоэффективных трибосистем.

2. Методология расчета основных конструктивных параметров различных типов подшипников скольжения и обоснованного назначения

режимов их эксплуатации, в том числе и в экстремальных условиях создает возможность проектирования новых эффективно работающих узлов трения.

3. Предложенные расчетные методы, позволяющие достигнуть увеличения до 30–45 % несущей способности подшипников, работающих с использованием сжимаемых, вязкопластичных, микрополярных смазочных материалов, при назначении оптимальных величин параметра опорного профиля.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования подтверждается их экспериментальной проверкой и внедрением в ООО «Транстриботехника», ЗАО «Специальное конструкторское бюро автоматических линий и металлорежущих станков» для использования в проектной документации в виде раздела «Конструктивные расчетные модели малогабаритных подшипников скольжения при многослойной смазке», в Северо-Кавказской дирекции тяги филиала ОАО «РЖД» на моторно-осевых подшипниках локомотива ВЛ-80, в ЗАО «Донкузлитмаш» в шпиндельных узлах фрезерных станков и др.

Результаты исследований автора могут быть так же широко использованы в учебном процессе технических ВУЗов.

#### **Полнота публикаций.**

Результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях соискателя. По материалам диссертационного исследования опубликовано 88 печатных работ, в том числе 49 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Опубликованные работы в достаточной мере отражают содержание представленной диссертации. Материалы работы также в полной мере доложены на международных и российских конференциях, семинарах и совещаниях различного уровня, что подтверждает факт их публичной апробации.

**Соответствие автореферата диссертации.** Автореферат полностью отражает содержание диссертации и охватывает все её разделы.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертация соответствует паспорту заявленной специальности 05.02.04 –«Трение и износ в машинах» по следующим пунктам: 2 – «Механика контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом качества поверхностного слоя»; 4 – «Смазочное действие: гидро- и газодинамическая смазка, гидро- и газостатическая смазка, эластогидродинамическая смазка, граничная смазка»; 8- «Триботехнические свойства смазочных материалов»; 10 – «Физическое и математическое моделирование трения и изнашивания».

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. Не совсем удачной представляется структура диссертации. Ее теоретическая часть составляет подавляющий объем диссертационной работы, в то время исследованиям, подтверждающим возможность их практической реализации уделяется гораздо меньше внимания.

2. Объем диссертационной работы представляется излишне большим, он мог бы быть значительно сокращен за счет компактного изложения материала и его рациональной систематизации в пределах отдельных разделов.

3. Перечень поставленных автором и решаемых им задач представляется чрезмерно широким, а задача 8, в которой формулируется содержание экспериментальных исследований, вообще в пределах одной диссертационной работы представляется трудно выполнимой.

4. При формулировке предмета исследований, автором анонсируется разработка комплекса расчетных моделей конструкций узлов подшипников скольжения, однако невозможно представить работоспособную методику расчета подшипника скольжения без учета его конструктивных особенной, режима работы, свойств смазки и т.д. Поэтому в диссертации было бы желательно привести пример алгоритм выполнения такого расчета.

5. В выводах по отдельным разделам диссертации – 2,3,4 и др. недостаточно четко отражены возможные пути использования полученных закономерностей для достижения задачи повышения работоспособности той или иной подшипниковой схемы.

6. Представляется не вполне рациональной и сложно выполняемой технологически схема модернизации подшипника качения буксовых узлов, представленная в приложении 10 (стр. 476)

7. Недостаточно информативными представляются методики экспериментальных исследований и полученные в процессе их выполнения результаты. Поэтому желательно чтобы каждый эксперимент сопровождался обсуждением того, какой именно теоретический результат подтвержден и в какой степени.

8. Вводимая автором характеристика трибоузла «профиль, адаптированный к условиям трения», как следует из полученных результатов, например, при решении задачи с установившимся течением двухслойного смазочного материала в радиальном подшипнике при зависимости вязкости и проницаемости пористого покрытия от давления (раздел 7), оказывает существенное влияние на несущую способность подшипника. К сожалению, автор не уделяет достаточного внимания определению этой характеристики и методике ее определения и оптимизации, как теоретически, так и экспериментально.

9. Большинство параметров, решаемых в диссертации задач, задаются безразмерными, что снижает наглядность полученных результатов из-за отсутствия ссылок на конкретные примеры с указанием размеров, скоростей, давлений, реологии смазочных сред. Представляется также, что вводимые допущения и получаемые решения заслуживают более обстоятельного обсуждения, в том числе определения предельных значений параметров задачи, ограничивающих область удовлетворительного описания моделируемых процессов, оценки численной устойчивости решений.

Несмотря на приведенные замечания, рецензируемая диссертационная работа является законченным исследованием и по ней можно принять следующее заключение.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертация Мукутадзе М.А. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно, в которой содержатся разработка расчетных моделей различных типов подшипников скольжения, работающих в нестационарных условиях, на основе развития теории гидродинамической и реодинамической смазки, новые научные результаты и технологические решения в области исследований процессов фрикционного взаимодействия и изнашивания, использование которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в развитии высокотехнологичных отраслей промышленности машиностроительного комплекса России.

Анализ содержания диссертации и публикаций по ее теме позволяет сделать вывод, что диссертационная работа по актуальности избранной темы, характеру рассматриваемых вопросов, поставленных и достигнутых цели и задач, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям ВАК, регламентируемым пунктами 9, 10 и 11 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, ее автор - а ее автор, Мукутадзе Мурман Александрович, заслуживает присуждения ему учёной доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

**Официальный оппонент**

Памфилов Евгений Анатольевич, профессор кафедры «Машиностроение и материаловедение» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ; специальности: 05.02.01 – материаловедение в машиностроении; 05.02.04 – трение и износ в машинах.

Адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50-лет Октября, 7, тел.: +7-905-100-17-51, E-mail: pamfilov@bgita.ru.

