

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента
Корнаева Алексея Валерьевича на диссертационную работу
Леванова Игоря Геннадьевича «Оценка ресурса сложнагруженных сопряжений
турбопоршневых машин с учётом свойств смазочных материалов при моделировании
изнашивания», представленную на соискание учёной степени
доктора технических наук по специальности
05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»

Актуальность темы исследования

Проблема снижения энергетических и материальных потерь в узлах трибосопряжений является перманентной и в ближайшем обозримом будущем не предвидится ее окончательного решения. Поэтому актуальность темы исследования не вызывает сомнений. Автор разработал методологию и инструментальные средства в виде программ для расчета трибосопряжений, функционирующих в условиях всех известных режимов трения: гидродинамическом, смешанном и граничном с учетом отклонений формы, неньютоновских свойств жидкостей, наличия в них абразивных частиц и других факторов. Применение разработок позволяет существенно снизить потери на трение и износ в узлах машин, создает предпосылки более точного предсказания ресурса подшипников и разработки новых смазочных материалов с улучшенными свойствами.

В пользу актуальности свидетельствует факт поддержки исследования грантами РФФИ, министерства науки и высшего образования. Практическая значимость исследований подтверждается успешно выполненными хоздоговорными работами с крупными предприятиями региона, а также актами внедрения результатов проведенных научно-исследовательских работ.

Общая характеристика диссертационной работы

Объектом исследования диссертационной работы являются процессы, происходящие в смазочном слое подшипников скольжения при гидродинамическом, смешанном и граничном режимах трения в условиях динамического нагружения подшипниковых опор роторных машин. В качестве основной цели исследования выбрана разработка комплекса математических моделей и алгоритмов для описания процессов

трения и износа в подшипниках скольжения, функционирующих в условиях высоких переменных нагрузок.

Автор работы выполнил значительный по объему обзор классических и современных источников с критическим анализом, что позволило ему грамотно сформулировать задачи исследования.

Экспериментальная часть работы выполнялась в лаборатории «Триботехника» им. В.Н. Прокопьева» (ЮУрГУ, Челябинск) и связана с исследованием режимов трения и интенсивности изнашивания подшипников скольжения. Во второй главе представлены результаты масштабных экспериментальных исследований смазочных материалов известных производителей, а также условно «чистых» масел и масел с новыми противоизносными добавками. Основные исследования выполнены на модернизированной установке, имитирующей условия работы подшипника скольжения при различных режимах трения с контролем толщины смазочного слоя посредством измерения электрического сопротивления. Полученные данные позволили построить кривые Герси-Штрибека, анализ которых позволил судить о влиянии свойств и состава масел на несущую способность, коэффициент трения и другие рабочие характеристики подшипника скольжения. Был установлен ряд важных закономерностей, положенных в основу научной новизны и выводов по работе, а также была создана опытная партия моторных и трансмиссионных масел с новыми противоизносными добавками.

Третья и четвертая главы связаны с разработкой комплекса математических моделей и алгоритмов для описания процессов трения и износа в динамически нагруженных подшипниках скольжения. Разработанная методика включает совместное решение гидродинамической и контактной задач с использованием и некоторой модификацией ранее известных методов моделирования. В том числе, учитываются особенности реологического поведения тонкого граничного подслоя смазочного слоя. Предложена концепция для оценки ресурса подшипников скольжения.

Пятая глава посвящена разработке программного обеспечения на основе разработанных математических и алгоритмических моделей, а также с учетом полученных экспериментальных данных. Результаты вычислительных экспериментов хорошо согласуются с результатами физических экспериментов, а также позволили автору выявить новые закономерности и оценить их количественно.

В заключительной главе представлены новые технические решения, в том числе системы фильтрации, оснащенные сенсорными элементами.

В целом, диссертация представляет собой законченное научное исследование. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание.

Степень обоснованности, достоверность и новизна выносимых на защиту научных положений

Научная новизна диссертационной работы выражается в 5 пунктах научных результатов прикладного и теоретического характера, содержательная часть которых соответствует областям исследований паспорта научной специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин». Научная новизна связана с результатами теоретико-экспериментальных исследований сложных физико-химических процессов трения и износа, разработкой методологических и инструментальных средств, а также с выявлением и научной интерпретацией новых экспериментальных данных.

Пункт 1 научной новизны посвящен результатам экспериментальных исследований, демонстрирующим влияние противоизносных компонентов в маслах на рабочие характеристики подшипников скольжения. Исследования были выполнены на оборудовании вузовско-академической лаборатории «Триботехника» им. В.Н. Прокопьева» и сопоставлены с вычислительным экспериментом.

Пункт 2 связан с разработкой математической модели смазочного слоя с учетом высоковязкого граничного подслоя, который может разрушаться под действием сдвиговых напряжений. Модель описывает сложный физический процесс смены режима трения и имеет важное значение для трибологии.

Пункт 3 предлагает концепцию оценки ресурса сложнонагруженных подшипников скольжения, основан на проведенных теоретико-экспериментальных исследованиях, уточняет и дополняет ранее известные методики.

Пункт 4 посвящен оценке влияния противоизносных свойств смазочных материалов на скорость изнашивания и ресурс сложнонагруженных подшипников скольжения имеющей важное прикладное значение.

Пункт 5 устанавливает закономерность соответствия режима работы подшипников скольжения и уровня противоизносных свойств. Закономерность установлена расчетным путем с использованием разработанных математических моделей и программ, достоверность которых была предварительно проверена сравнением с экспериментальными данными и данными других исследователей.

В целом, обоснованность, достоверность и новизна выносимых на защиту положений не вызывает сомнений.

Степень обоснованности, достоверность и новизна выводов и рекомендаций

Общие выводы и рекомендации по результатам работы включают 7 пунктов (согласно автореферату). Выводы получены на основе разработанных автором

математических моделей и проведенных автором вычислительных и физических экспериментов, поэтому их новизна не вызывает сомнений.

Вывод 1 свидетельствует о разработке комплекса математических моделей и алгоритмов, реализация которых в виде программ позволяет исследовать различные режимы смазки и процесс износа в сложнагруженных подшипниках скольжения. Разработанный комплекс моделей и алгоритмов основан на применении известных научных подходов, используемых в области исследования. Вывод констатирует повышение точности моделирования, но не предоставляет количественных оценок.

Вывод 2 объединяет результаты комплекса физических экспериментов по исследованию влияния противоизносных добавок к различным маслам на несущую способность и коэффициент трения в подшипнике скольжения на основании построения и анализа диаграмм Герси-Штрибека. Полученные результаты обладают хорошей воспроизводимостью, выявленные закономерности имеют важное прикладное значение. Полученные массивы экспериментальных данных могут быть использованы при создании и (или) наполнении трибологических баз данных, и в дальнейшем использованы при разработке новых материалов.

В выводе 3 представлено описание методики моделирования процесса изнашивания, основанной на совместном решении гидродинамической и контактной задачи, и учитывающей явление разрушение высоковязкого граничного смазочного слоя. Вывод также констатирует повышение точности моделирования, но не предоставляет количественных оценок.

Вывод 4 постулирует новую концепцию оценки ресурса сложнагруженных подшипников скольжения с учетом широкого спектра факторов. Концепция основана на многолетних экспериментальных исследованиях свойств смазочных материалов и подкрепляется значительным количеством публикаций автора по результатам этих исследований.

Выводы 5 и 6 связаны с разработкой программного обеспечения и его применением при проектировании и расчете сложнагруженных подшипников скольжения. Дана количественная оценка повышения несущей способности, снижения скорости изнашивания в условиях применения противоизносных добавок к маслам и улучшенных условий фильтрации масел.

Вывод 7 связан с новыми техническими решениями для повышения ресурса подшипников скольжения. Решения основаны на результатах физических и вычислительных экспериментов.

Рекомендации по использованию результатов исследований и перспектив их развития связаны с применением разработанного программного обеспечения и другого разработанного инструментария при проектировании подшипников скольжения и оценки их ресурса. Полученные результаты создают достаточные основания для создания новой трибологической базы данных.

В целом, обоснованность, достоверность и новизна выводов и рекомендаций не вызывает сомнений.

Анализ публикаций автора по теме исследования и оценка авторского вклада

Опубликованные автором работы в полной мере отражают содержание диссертации. Соискателем индивидуально и в соавторстве было опубликовано по теме исследования более 60 работ, включая 17 статей в журналах, входящих в перечень ВАК и более 10 статей в изданиях, входящих в базы «Scopus» и «Web of Science», в том числе, в высокорейтинговых журналах. Некоторые исследования проводились совместно с другими исследовательскими группами, что положительно сказалось на уровне публикаций. По данным базы «Scopus» публикации соискателя имеют положительную тенденцию ежегодного роста количества цитирований, индекс Хирша в настоящее время составляет 7 пунктов.

Разработанные методы и полученные результаты докладывались на известных научных конференциях по проблемам машиноведения, трибологии и смежных областей.

Авторский вклад отражают научная новизна и выносимые на защиту положения. Диссертационная работа полностью отвечает пункту 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Замечания по диссертационной работе

1. В качестве обоснования актуальности темы исследования автор постулирует необходимость обеспечения технической независимости страны от западных технологий, а в результате исследования предлагает новые отечественные разработки в виде программного кода, реализованного на языке программирования и с использованием операционной системы и вычислительных ресурсов зарубежного (западного) производства. Возможно, автору следовало бы хотя-бы концептуально рассмотреть вопросы и пути дальнейшего развития полного импортозамещения в области исследования.

2. В работе существенное внимание уделяется оценке современного состояния науки и техники в области исследования. Приводится анализ известных зарубежных и отечественных программных комплексов для моделирования трибосопряжений, в том числе, программный модуль Tribot-X пакета Ansys. Сравнение возможностей и точности известных программных комплексов и разработанного программного обеспечения в заключительной части диссертации помогло бы более явно определить возможности и подчеркнуть конкурентные преимущества разработок автора.

3. В диссертации значительное внимание уделено экспериментальной работе. Результаты экспериментов доступны читателю в виде графиков и параметров приближенных функций. При этом следовало бы более подробно представить сведения о планировании экспериментов, а полученные результаты могли бы быть представлены в виде новой трибологической базы данных.

4. Представленный в работе подход к описанию процесса смазки во многом основан на механике сплошных сред. Предполагается, что связь напряженного и деформированного состояния определяется тензором нулевого ранга – коэффициентом динамической вязкости, входящим в обобщенный закон Ньютона. Это предположение основано на допущении об изотропности среды. В случае анизотропных сред связь напряженного и деформированного состояния описывается тензорами более высокого ранга. Поэтому не вполне ясна правомерность применения коэффициента динамической вязкости для описания движения среды в высоковязком граничном смазочном слое.

5. Вязкость масла предложено описывать многопараметрической функцией многих переменных. Аппроксимация сложными функциями может быть сопряжена с потерей точности определения величины вязкости и ее градиента. В работе следовало бы привести сведения об оценке точности аппроксимации.

6. Обоснованию допущения об адиабатичности процесса течения жидкости в подшипнике скольжения (п. 7 на стр. 148 диссертации) следовало бы уделить большее внимание.

7. В работе представлены важные новые сведения и выявлены закономерности о влиянии новых и известных противоизносных присадок на рабочие характеристики подшипников скольжения, функционирующих в условиях сложного нагружения. Однако не приведено сведений об изменении свойств масел в течение длительного времени их использования.

Отмеченные замечания не снижают существенно научной и практической значимости диссертационной работы.

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

Рассматриваемая диссертация имеет высокий научный и технический уровень, соответствует заявленной специальности и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой предложено решение научной проблемы снижения потерь на трение и износ в узлах трибосопряжений роторных машин путем совершенствования свойств смазочных материалов, создания современных высокоточных методов и средств проектирования трибосистем, имеющей важное значение для развития направлений трибологии и гидродинамической теории смазки. Считаю, что оппонируемая работа удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а её автор – Леванов Игорь Геннадьевич заслуживает присвоения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 05.13.18
«Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ», доцент,
профессор кафедры мехатроники, механики и
робототехники федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С.
Тургенева»,

адрес: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95,
rusakor@inbox.ru, +7(953)-478-15-91.

Алексей Валерьевич Корнаев

07. апреля 2022г.

Подпись Алексея Валерьевича Корнаева заверяю
учёный секретарь Учёного совета

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», к.б.н., доцент



Наталья Николаевна Чаадаева