

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.298.09, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.04.2022 № 14

О присуждении Леванову Игорю Геннадьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Оценка ресурса сложнагруженных сопряжений турбопоршневых машин с учётом свойств смазочных материалов при моделировании изнашивания» по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» принята к защите 26.01.2022 г. (протокол заседания № 1) диссертационным советом Д 212.298.09, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. В.И. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета Д 212.298.09 № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Леванов Игорь Геннадьевич, 12.04.1985 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика расчёта сложнагруженных подшипников скольжения, работающих на неньютоновских маслах» по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин» защитил в 2011 г. в диссертационном совете Д 212.298.09, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Работает доцентом кафедры автомобилей и автомобильного сервиса в ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре автомобильного транспорта ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Задорожная Елена Анатольевна, профессор кафедры автомобильного транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Корнаев Алексей Валерьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры мехатроники, механики и робототехники ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл;

2. Мукутадзе Мурман Александрович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону;

3. Калимуллин Руслан Флюрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Гасюком Дмитрием Петровичем, д.т.н., профессором, и.о. директора Высшей школы машиностроения института «Машиностроения материалов и транспорта» ФГАОУ ВО «СПбПУ» указала, что диссертация Леванова И.Г. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований, получены новые результаты, в совокупности, представляющие собой решение важной научной проблемы по совершенствованию метода расчёта ресурса сложнагруженных сопряжений

турбопоршневых машин на ранних этапах их проектирования, внедрение которой вносит значительный вклад в развитие страны и имеет существенное значение для современного машиноведения и практики проектирования.

Соискатель имеет 65 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 63 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 17 работ, в международных базах данных Scopus и Web of Science опубликовано 11 работ, 1 монография, 5 патентов на полезную модель, 12 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ.

В диссертацию включены результаты, полученные автором лично. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Леванов, И.Г. Методика расчёта ресурса подшипников скольжения на ранних этапах проектирования поршневых и роторных машин / И.Г. Леванов, Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, Д.Н. Никитин // Вестник ЮУрГУ. Серия: «Машиностроение». – 2021. – № 3. – Т.21. – С.5–21. Доля автора 10 с.

2. Леванов, И.Г. Моделирование гидродинамических подшипников скольжения с учётом индивидуальных противоизносных свойств смазочных материалов / И.Г. Леванов, Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, Д.Н. Никитин // Вестник ЮУрГУ. Серия: «Машиностроение». – 2021. – № 1. – Т.21. – С. 14–28. Доля автора 8 с.

3. Мухортов, И.В. Влияние антифрикционных присадок на генерацию тепла в контактах качения с проскальзыванием / И.В. Мухортов, И.Г. Леванов, К.А. Якунина // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. – 2017. – № 3. – Т.17. – С. 58–66. Доля автора 4 с.

4. Задорожная, Е.А. Методология определения ресурса шатунных подшипников теплового двигателя / Е.А. Задорожная, И.Г. Леванов, А.Л. Дудников // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – №3 (51). – С. 46–57. Доля автора 5 с.

5. Мухортов И.В. Связь структуры и трибологических характеристик диалкилдитиофосфатов цинка / И.В. Мухортов, К.А. Почкайло, А.А. Дойкин, И.Г. Леванов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. – 2016. – № 4. – Т. 16. – С. 67–74. Доля автора 3 с.

6. Задорожная, Е.А. Механизм образования граничных слоёв и реологическая модель вязкости тонких слоёв смазочного материала / Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, И.Г. Леванов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 10 (171). – С. 76–81. Доля автора 3 с.

7. Задорожная, Е.А. Расчёт сложнонагруженных трибосопряжений высокофорсированного дизеля / Е.А. Задорожная, И.Г. Леванов, С.А. Пырьев // Вестник машиностроения. – 2013. – № 12. – С.42–47. Доля автора 3 с.

8. Задорожная, Е.А. Обоснование выбора класса вязкости моторного масла для снижения трибологических потерь в тяжело нагруженных подшипниках скольжения тепловых двигателей / Е.А. Задорожная, В.С. Мурзин, И.Г. Леванов, Д.Ю. Иванов // Двигателестроение. – 2011. – № 4 (246). – Ч. 1. – С. 44–47. Доля автора 2 с.

9. Леванов, И.Г. Экспериментальные исследования реологических свойств всесезонных моторных масел / И.Г. Леванов, Е.А. Задорожная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 17, № 11 (228). – С. 70–76. Доля автора 4 с.

10. Леванов, И.Г. Методика расчёта гидромеханических характеристик сложнонагруженных подшипников скольжения поршневых и роторных машин, смазываемых неньютоновскими маслами / И.Г. Леванов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 18, № 31 (248). – С.34–43. Доля автора 5 с.

11. Леванов, И.Г. Обзор реологических моделей моторных масел, используемых при расчётах динамики подшипников скольжения коленчатого вала / И.Г. Леванов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2010. – Вып. 15, № 10 (186). – С. 54–62.

12. Прокопьев, В.Н. Совершенствование методики расчёта сложнонагруженных подшипников скольжения, смазываемых неньютоновскими маслами / В.Н. Прокопьев, Е.А. Задорожная, В.Г. Караваев, И.Г. Леванов // Проблемы машиностроения и

надёжности машин. – 2010. – № 1. – С. 63–67. Доля автора 2 с.

13. Мухортов И.В. Усовершенствованная модель реологических свойств граничного слоя смазки / И.В. Мухортов, Н.А. Усольцев, Е.А. Задорожная, И.Г. Леванов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 5. – С. 8–19. Доля автора 5 с.

14. Задорожная, Е.А. Влияние микрополярных свойств масел на динамику сложнонагруженных подшипников скольжения / Е.А. Задорожная, В.Г. Карваев, И.Г. Леванов, А.В. Чеснов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3 (19). Ч. 1. – С. 329–337. Доля автора 4 с.

15. Прокопьев, В.Н. Влияние неньютоновских свойств масел на нагруженность шатунных подшипников коленчатого вала / В.Н. Прокопьев, Е.А. Задорожная, И.Г. Леванов // Двигателестроение. – 2008. – № 3. – С. 40–42. Доля автора 1 с.

На диссертацию и автореферат поступило 10 отзывов. Во всех отзывах отмечается актуальность темы диссертации и даётся положительная оценка результатов работы.

Замечания, отмеченные в отзывах:

1) *ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», Хорешок А.А., д-р техн. наук, профессор, директор Горного института КузГТУ, В.Ю. Блюменштейн, д-р техн. наук, профессор кафедры технологии машиностроения КузГТУ.* Замечания:

1. К сожалению, в автореферате не приведена чёткая формулировка научной проблемы. Говорится о: вопросах надёжности как актуальных, наличии проблемы прогнозирования и обеспечения показателей надёжности, о прогнозировании ресурса ПС как актуальной научной задаче, развитии методов моделирования как актуальной задаче, технической и технологической зависимости как важной проблеме. А проблема как формулируется? 2. Не очень понятна формулировка цели исследования. Речь идёт о «разработке комплекса математических моделей...», а не выявлении закономерностей взаимодействия СМ с поверхностями трения, что позволяет... (и далее оп тексту)? 3. В автореферате не приведена информация и результаты исследований влияния микрогеометрии (волнистости и шероховатости)

контактирующих поверхностей на работоспособность смазочного материала и надёжность ПС. 4. Из автореферата неясно, позволяет ли система математических моделей получить базовые цифровые образы исследуемых процессов и проводить в дальнейшем и моделирование, и расчёты, не прибегая к трудоёмким экспериментам.

2) *ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», А.В. Старцев, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие».* Замечания:

1. В тексте автореферата (стр.31) указано, что «критическое значение характеристики режима работы подшипника» имеет экспоненциальную зависимость, в то же время на рисунке 17, по сути, представлены прямые линии. В этой связи, непонятно, почему автор принял экспоненциальную зависимость, в то время как мог ограничиться прямой линией. Здесь же, автор приводит коэффициент достоверности аппроксимации, но проверка или оценка сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований не представлена (регрессионный анализ и исследуемая автором математическая модель – разные вещи). Кроме того, «критическое значение характеристики режима работы подшипника» в тексте и на рисунке имеют различное обозначение. 2. Вывод под номером 1 (стр. 37 автореферата) мог бы быть перемещён в преамбулу, так он носит обобщающий характер и не обладает конкретностью. 3. Вывод под номером 5 (стр. 38-39 автореферата) слишком длинный, содержит полемику и дополнительные обоснования, в то время как должен содержать результаты проведённых исследований и рекомендации.

3) *Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Захаров С.М., д-р техн. наук, профессор, научный консультант Научного центра «Рельсы, сварка, транспортное материаловедение».* Замечания:

1. Как указано в автореферате, объектом исследования являются «процессы, происходящие в системе «шип-смазочный слой-подшипник» при гидродинамическом, смешанном и граничном режимах смазки в процессе динамического нагружения трибосопряжения. Но ресурс сложнонагруженных

турбопоршневых машин, как указано в заглавии работы, для двигателей внутреннего сгорания, являющихся основным объектом исследования, определяется не только процессами, происходящими в системе коленчатый вал-подшипники, но и его цилиндро-поршневой группой. 2. Не ясно, в какой мере в данной работе учитывалась и исследовалась степень влияния некруглоцилиндрической формы шейки вала и вкладышей подшипника, показанные на рис. 7 автореферата, особенно при их сочетании? 3. На стр. 20 автореферата указано, что «В зоне контакта и разрушения граничных слоёв (в зоне 3) вязкость также увеличивается по мере сближения поверхностей в результате роста гидродинамических давлений в этом слое». Но при этом и температура в этой зоне увеличивается из-за взаимодействия неровностей и слой может разрушаться, когда температура превысит критическую. Тогда реализуются дезориентация и десорбция молекул смазочного материала, образующего этот слой. 4. Абразивные частицы размером больше минимальной толщины слоя могут разрушаться при взаимодействии с поверхностями трения. Как учитывалось это явление при моделировании? 5. Усталостная долговечность подшипника с антифрикционным слоем зависит от многих факторов, в том числе, как было показано Н.А. Буше, от толщины антифрикционного слоя. Так как на вкладыш подшипника действует переменная нагрузки, то в качестве оценки долговечности антифрикционного слоя следовало бы использовать его контактно - усталостные характеристики. 6. По какому критерию определяется критическая толщина смазочного слоя и на каком основании принято, что для всех типов двигателей предельная продолжительность граничного режима смазки (когда минимальная толщина смазочного слоя меньше критического значения) составляет более 25%? 7. В оценку ресурса сложнагруженных турбопоршневых машин следовало включить не только шатунные, но и коренные подшипники, у которых имеются свои особенности в виде угловых перемещений шеек вала и опор, и в которых также возникают режимы граничной смазки.

4) *ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ), Кузнецова В.Н., д-р техн. наук, профессор, проректор по учебной работе.* Замечание:

1. Осталось неясным, каковы результаты оценки предельно допустимого радиального зазора в подшипнике турбогенератора и влияния противоизносных свойств турбинного масла на работоспособность подшипника.

5) *ФГБУН Научно-инженерный центр «Надёжность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения Российской академии наук, Тимашев С.А., Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, профессор, научный руководитель, главный научный сотрудник ФГБУН НИЦ «НиР БСМ».* Замечания:

1. Из автореферата не ясно, какие допущения были приняты автором при решении гидродинамической задачи, а также при изложении методики, связанной с абразивным изнашиванием. 2. Расчётные исследования подшипников выполнены для номинальных режимов работы двигателей. Однако хорошо известно, что большую часть времени рассматриваемые двигатели функционируют на переходных режимах при частичных нагрузках.

б) *Акционерное общество «Турбокомплект», Сибиряков С.В., главный конструктор.* Замечания:

1. В работе отмечено изменение геометрии подшипника в процессе износа по мере выработки ресурса. Это учтено при расчётах корректировкой геометрии по мере износа. Отмечено, что в пределах одного цикла нагружения под действием нагрузок также имеет место деформация геометрии подшипника. Однако учёт этих деформаций не описан. 2 Не описано, каким образом оценивается усталостная долговечность. Если по кривой Велера, то откуда взяты данные для её построения. 3. Режимы работы транспортных и, в частности, автомобильных двигателей отличаются большой нестационарностью. При оценке ресурса всё-таки следует выбирать не стационарные режимы, а, например: - ездовой 13-ступенчатый цикл или данные режимометрирования. 4. Целесообразно было бы предварительно дать общую характеристику видов износов пар трения. Потому что контактное взаимодействие и наличие абразива в масле не являются единственными и главными причинами износа. Именно абразив не является главной причиной износа. Это будет понятно, если проанализировать, какими возможными путями этот абразив может попасть в масло. Также не совсем правомерно использовать данные по

интенсивности износа А.С. Денисова и В.Н. Прокопьева. Т.к. эти данные были актуальны для тех масел и условий работы подшипников двигателей, которые существовали в 1970...80 г.г. Сегодня на мой взгляд основным видом износа является коррозионно-механический.

7) *ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Сызранцев В.Н., д-р техн. наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности».* Замечания:

1. В тексте автореферата не указано, как можно использовать представленную концепцию для других объектов машиностроения. 2. Из практики известно, что сопряжения в процессе приработки и дальнейшего функционирования отклоняются от правильной геометрической формы. Из текста автореферата остаётся не ясным, – возможно ли с помощью разработанной методики оценить влияние износа поверхностей трения на их работоспособность и ресурс.

8) *ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Бурлакова В.Э., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия».* Замечания:

1. Экспериментальные исследования смазочных материалов были выполнены на подшипнике скольжения с углом охвата в 180 градусов. Что помешало провести эксперименты на подшипнике с полным охватом? И как это повлияло бы на результаты эксперимента? 2. Из автореферата не ясно, оценивалась ли автором величина шероховатостей поверхности трения подшипника скольжения после экспериментов? Как влияет смазочный материал различного состава на равновесную шероховатость в подшипнике? 3. В работе указано, что модель предполагает расчёт интенсивности абразивного изнашивания. Однако из автореферата не ясно, учитывали ли автор наличие абразивных частиц при расчётах или нет.

9) *ПАО «КАМАЗ», главный конструктор по двигателям А.С. Куликов, начальник КИО механизмов и систем двигателей В.В. Бурлаков, руководитель группы механизмов двигателей Т.Ф. Исламгулов, главный специалист по механизмам двигателей В.С. Гольмаков.* Замечания:

1. Отсутствие описания параметров подшипника скольжения, на котором была опробована методика получения диаграммы Герси-Штрибека во второй главе. 2. Отсутствие описания получения модуля упругости вкладыша подшипника скольжения (таблица 5.1), так как вкладыш изготовлен из композиционного материала (сталебронзовая или сталеалюминиевая лента), то модуль упругости должен учитывать оба слоя, учитывая, что толщина антифрикционного слоя достаточно мала – от 0,1 до 0,4 мм.

10) *Акционерное общество Специальное конструкторское бюро «Турбина», Латыпин И.С., заместитель генерального директора по НИОКР-главный конструктор АО СКБ «Турбина».* Замечания:

1. Из автореферата не ясно, как и каким методом проводилась обработка полученных экспериментальных данных. Большое количество измерительных приборов и датчиков способствует накоплению ошибки. Была ли выполнена ее оценка и учет при сравнении результатов? 2. Трибологические и численные эксперименты выполнены в довольно узком диапазоне параметров, обусловленном характеристиками использованного оборудования, без соотнесения условий испытаний с типичными параметрами работы какого-либо сопряжения, применяемого в технике. Из текста не ясно, можно ли распространить полученные результаты на характеристики сопряжения, работающего в других (более напряженных) условиях. Или этот вопрос не отражен в автореферате? 3. Из автореферата неясно, возможно ли применение разработанных автором положений, алгоритмов и программ в практике проектирования высокоскоростных турбомашин с газодинамическими подшипниками скольжения?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований по теме диссертационной работы. Выбранные оппоненты и ведущая организация являются признанными специалистами и компетентны в области исследования, выполненного соискателем, а также имеют публикации в соответствующем направлении. Работы оппонентов и ведущей организации опубликованы в рецензируемых изданиях за последние 5 лет с 2017 по 2022 гг., что свидетельствует об актуальности и новизне выполненных научно-исследовательских

работ, а также об их осведомленности в современных тенденциях развития в области машиноведения и деталей машин.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан и реализован в программном продукте комплекс математических моделей и алгоритмов, описывающих механизмы трения в сложнонагруженных подшипниках скольжения при любых возможных режимах смазки, учитывающих процессы взаимодействия смазочного материала с поверхностями трения, и позволяющих повысить достоверность моделирования процесса изнашивания для прогнозирования ресурса подшипников;

предложена методика моделирования процесса изнашивания сложнонагруженных подшипников скольжения с учётом физико-химического взаимодействия смазочных материалов с поверхностями трения, включающая наиболее часто встречающиеся в машинах режимы смазки (гидродинамический, смешанный и граничный), которая предполагает совместное решение гидродинамической и контактной задач в подшипнике скольжения хорошо апробированными методами, в том числе расчёт усталостной долговечности вкладышей и интенсивности абразивного изнашивания;

оценено влияние дополнительных противоизносных компонентов в смазочных маслах различного назначения (моторные, трансмиссионные, гидравлические) на условия смены режима смазки в подшипнике скольжения с гидродинамического на граничный;

предложены новые: зависимость для описания явления разрушения высоковязкого граничного смазочного слоя под действием сдвига при решении гидродинамической задачи смазки сложнонагруженных подшипников скольжения; зависимость, связывающая критическое значение характеристики режима работы подшипника скольжения с уровнем противоизносных свойств смазочных материалов;

доказана необходимость при определении гидромеханических характеристик сложнонагруженных подшипников скольжения применения математической модели

смазочного слоя, учитывающей существование высоковязкого граничного смазочного слоя на поверхностях трения подшипника скольжения и его разрушение под действием сдвига, что позволяет повысить достоверность моделирования процессов изнашивания, оценки нагруженности и ресурса подшипников скольжения турбопоршневых машин для различных отраслей промышленности.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность комплексного учёта вязкостно-температурных, реологических и противоизносных свойств смазочных материалов, шероховатости поверхностей шейки вала и вкладышей, критической характеристики режима работы подшипника при анализе нагруженности и работоспособности сложнонагруженных подшипников скольжения, расчёте их гидромеханических характеристик, моделировании изнашивания и оценке ресурса;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих и разработанных автором методов расчёта динамики и гидромеханических характеристик сложнонагруженных подшипников скольжения, что позволило получить оценку ресурса подшипников с учётом различного уровня противоизносных свойств смазочных материалов, обусловленных адсорбционным высоковязким граничным слоем;

изложена концепция оценки ресурса сложнонагруженных подшипников скольжения, ведущая роль в которой отводится влиянию свойств смазочных материалов на скорость изнашивания поверхностей трения подшипников;

изучены взаимосвязи уровня противоизносных свойств смазочных материалов с критической характеристикой режима работы подшипника скольжения, контактными параметрами, скоростью изнашивания элементов и с гидромеханическими характеристиками сложнонагруженного подшипника скольжения;

проведена адаптация математических моделей абразивного и усталостного изнашивания подшипников скольжения для оценки связи уровня противоизносных свойств смазочных материалов со скоростями изнашивания и ресурсом элементов сложнонагруженных подшипников скольжения.

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

разработано и использовано в процессе проектирования подшипников скольжения коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания программное обеспечение для анализа динамики сложнагруженных подшипников скольжения, учитывающее особенности условий нагружения подшипников, вязкостно-температурные, реологические и противоизносные свойства смазочного материала, микрогеометрию поверхностей и физико-механические свойства материалов шейки вала и вкладышей, наличие в смазочном слое активных абразивных частиц, возможность работы подшипника при различных режимах смазки;

определены и запатентованы технические решения, позволяющие повысить надёжность работы гидродинамических подшипников скольжения турбопоршневых машин, в виде четырех конструкций масляных фильтров и сигнального устройства загрязнения масляного фильтра; получено двенадцать свидетельств на программы для ЭВМ;

созданы конструкции модельных узлов подшипников скольжения, позволяющие расширить возможности серийных машин трения ИИ-5018 и УМТ-2168 для исследования процессов, происходящих в смазочном слое подшипников скольжения при различных режимах смазки;

представленный в диссертации новый подход позволяет комплексно провести параметрические исследования, на основе которых разработаны рекомендации для повышения ресурса шатунных подшипников двигателя внутреннего сгорания.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты работы получены при использовании аттестованных средств – машин трения, ротационных вискозиметров и имитатора конического подшипника;

теоретические методы оценки гидромеханических характеристик сложнагруженных подшипников скольжения обосновываются применением известных численных методов; характеризуются качественным и количественным совпадением полученных результатов с известными теоретическими и

экспериментальными данными;

идея базируется на анализе практики проектирования и доводки турбопоршневых машин различного назначения, обобщении передового опыта теоретического и экспериментального анализа нагруженности и работоспособности гидродинамических сложнонагруженных подшипников скольжения, работающих в том числе при смешанном и граничном режимах смазки;

использованы результаты эксплуатационных и экспериментальных исследований изнашивания сложнонагруженных подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания, а также стационарно нагруженных подшипников скольжения, полученных отечественными и зарубежными авторами;

установлено качественное и количественное совпадение полученных автором результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными, что подтверждает адекватность разработанных расчётных методик и алгоритмов;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации для анализа параметров трения и изнашивания при проведении экспериментальных исследований на модельном ПС.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке и апробации комплекса математических моделей и алгоритмов; разработке трибологических стендов на базе машин трения для экспериментальных исследований подшипников скольжения; постановке и проведении экспериментальных исследований; создании методики моделирования процесса изнашивания сложнонагруженных подшипников скольжения с учётом физико-химического взаимодействия смазочного материала с поверхностями трения; разработке концепции оценки ресурса подшипников скольжения; разработке программного обеспечения для моделирования изнашивания и оценки ресурса сложнонагруженных подшипников скольжения; проведении параметрических исследований; разработке технических решений для повышения надёжности подшипников скольжения при эксплуатации машин; личном участие в апробации результатов исследования, публикации основных результатов исследования в рецензируемых журналах, написании патентов и регистрации программ для ЭВМ.

