

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.0.033.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФГБУН «ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ
ИМ. А.А. БЛАГОНРАВОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
И ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 31.05.2024 г. № 5

О присуждении Измерову Михаилу Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора технических наук.

Диссертация «Обеспечение триботехнических показателей слабонагруженных пар трения и герметичности на этапе проектирования применением имитационного моделирования» по специальности 2.5.3 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 29 февраля 2024 года (протокол заседания №3), диссертационным советом 99.0.033.02, созданным на базе ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук» и ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», Минобрнауки России, 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д.7, приказ о создании диссертационного совета № 1335/нк от 25.10.2016 г., шифр диссертационного совета изменён в соответствии с приложением № 1 приказа №561/нк от 03.06.21 г.

Соискатель, Измеров Михаил Александрович, 11.06.1981 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Обеспечение заданного уровня герметичности на этапе проектирования и повышение фреттингостойкости стыка герметизирующих устройств» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» защитил в 2006 году в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет». С 2011 по 2013 г. являлся докторантом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации. Работает доцентом в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Трубопроводные транспортные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, профессор Тихомиров Виктор Петрович, профессор кафедры «Трубопроводные транспортные системы» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Брянский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Малышев Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Трибология и технология ремонта нефтегазового оборудования" Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»,

2. Бреки Александр Джалюльевич, доктор технических наук, профессор международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,

3. Харламов Павел Викторович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Транспортные машины и триботехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, в своем положительном отзыве, подписанном Бурлаковой Викторией Эдуардовной, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Химия» и утвержденным проректором по учебной работе и международной деятельности д.т.н., профессором Бескопыльным Алексеем Николаевичем указала, что тема диссертации актуальна, а полученные соискателем новые научные результаты обладают научной новизной и практической значимостью, вносят существенный вклад в развитие науки и практики в области трения и износа в машинах, в которой решена важная научная проблема обеспечения износостойкости кинематических пар трения на этапе проектирования, имеющая важное хозяйственное значение, заключающееся в снижении затрат при проектировании на основе моделирования поведения трибосистем при трении, а также в ускорении процесса приработки за счёт подбора оптимальной исходной микрогеометрии поверхностей и в научном обосновании интервалов техобслуживания. Диссертационная работа соответствует пунктам 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Измеров Михаил Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.3 - «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 72 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 65 работ; из них в рецензируемых научных

изданиях опубликовано 27 работ, 4 учебных пособия, 5 монографий, 5 публикаций в зарубежных изданиях, включенных в международные реферативные базы (Web of Science, Scopus), имеется 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Публикации, в том числе, написанные в соавторстве, отражают результаты, полученные лично автором.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Тихомиров В.П. Контактное взаимодействие фрактальных поверхностей / В.П. Тихомиров, О.А. Горленко, М.А. Измеров, П.В. Тихомиров // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 4. – С. 12-23. (0,7 / 0,18 п.л.)

2. Измеров М.А. Герметичность металл - металлических соединений как порог протекания через фрактальную пористую среду // М.А. Измеров, В.П. Тихомиров, И.М. Лавит // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 2. – С. 9-17. (0,52 / 0,18 п.л.)

3. Измеров М.А. Адекватность модели и реальной поверхности // М.А. Измеров, В.П. Тихомиров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 64-71. (0,46 / 0,23 п.л.)

4. Тихомиров В.П. Механика контактного взаимодействия плоских волнистых поверхностей / В.П. Тихомиров, О.А. Горленко, М.А. Измеров, А.Н. Прокофьев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 4 (40). – С. 87-94. (0,46 / 0,12 п.л.)

5. Измеров М.А. Закон распределения пятен в задачах механики дискретного контакта / М.А. Измеров, В.П. Тихомиров, В.И. Воробьёв, С.Г. Волохов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 6 (308). – С. 21-27. (0,4 / 0,1 п.л.)

6. Измеров М.А. Фильтрационная модель протекания через фрактальную пористую среду / М.А. Измеров, В.П. Тихомиров // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. – № 3 (305). – С.7-14. (0,46 / 0,23 п.л.)

7. Тихомиров В.П. Фрактальные модели инженерных поверхностей /

В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров**, П.В. Тихомиров / Вестник Брянского государственного технического университета. - 2014. - № 3. - С. 72 - 80. (0,52 / 0,18 п.л.)

8. Тихомиров В.П. Контактная механика фрактальных поверхностей / В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров** // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2015. - № 1 (45). - С. 60 - 66. (0,4 / 0,2 п.л.)

9. Тихомиров В.П. Протекание через торцовое уплотнение с учетом волнистости и шероховатости / В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров** // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2016. - № 4 (52). - С. 83 - 93.

10. Тихомиров В.П. Герметичность металл - металлических уплотнительных устройств. / В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров** // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2016. - № 1. - С. 89 - 99. (0,63 / 0,32 п.л.)

11. Тихомиров В.П. Контактная жесткость плоского стыка. / В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров**, Д.Я. Антипин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т. 18. - № 1-2. - С. 327 - 331. (0,29 / 0,1 п.л.)

12. Тихомиров В.П. Нормальная контактная жёсткость фрактальных поверхностей стыкового соединения // В.П. Тихомиров, О.А. Горленко, **М.А. Измеров** // Качество и жизнь. – 2018. - №4 (20). – С. 429 – 433. (0,29 / 0,1 п.л.)

13. Тихомиров В.П. Влияние волнистости и шероховатости поверхности на нормальную контактную жесткость плоского стыка // В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров** // Вестник Брянского государственного технического университета, 2019. - № 12 (85). - С. 4 - 12. (0,52 / 0,26 п.л.)

14. Тихомиров В.П. Определение закономерности изнашивания сферического подшипника скольжения // В.П. Тихомиров, А.О. Горленко, **М.А. Измеров**, О.В. Дорофеев, С.Н. Злобин, А.Н. Ерохин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - Орёл, Госуниверситет – УНПК, 2020. - № 1 (339). - С. 8 - 16. (0,52 / 0,09 п.л.)

15. Тихомиров В.П. Трение металл-металлических поверхностей // В.П. Тихомиров, **М.А. Измеров**, С.В. Кузнецов, А.Г. Горностаева // Научные технологии в машиностроении. – 2022. – № 3 (129). – С. 40-48. (0,52 / 0,13 п.л.)

16. Измеров М.А. Трение фрактальных поверхностей // **М.А. Измеров**, В.П. Тихомиров // Вестник Брянского государственного технического университета, 2022. – № 1-2. – С. 20-28. (0,52 / 0,26 п.л.)

17. Тихомиров В.П. Модель контакта и оценка молекулярной составляющей силы трения // В.П. Тихомиров, М.Г. Шалыгин, **М.А. Измеров** // Научные технологии в машиностроении. – 2022. – № 6 (144). – С. 20-27. (0,46 / 0,16 п.л.)

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Все отзывы положительные, при этом содержат следующие замечания:

1. **Измайлов Владимир Васильевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Прикладная физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет». *Замечания:* 1) Замечание общего характера заключается в том, что при малых контактных нагрузках, на которые автор делает упор в своих моделях, существенную роль в процессах контактирования поверхностей твердых тел играет адгезионное взаимодействие - молекулярная адгезия безусловно и капиллярная в определенных условиях. Особенно это важно для нано-масштабного уровня (субшероховатость). В предложенных автором моделях контактного взаимодействия адгезионные силы не учитываются. Можно рассматривать это замечание как пожелание автору включить в разработанные фрактальные модели адгезионные силы. 2) В разделе «Научная новизна работы» на стр. 6 автореферата неудачно сформулированы п. 5 и п. 6. Адгезионная составляющая коэффициента трения не может определяться величиной отклонения кантилевера, как утверждает автор в п. 5. Она определяется состоянием поверхности контактирующих тел, величиной их поверхностной энергии и т.д. Наоборот, деформация кантилевера определяется в т.ч.

латеральными силами и может быть использована для расчета силы и коэффициента трения. В этом нет научной новизны, так как это явление хорошо известно в атомной силовой микроскопии. 3) Аналогично нельзя согласиться с утверждением автора о том, что «снижение интенсивности изнашивания в режиме приработки происходит из-за снижения фрактальной размерности поверхности» (п. 6). Уменьшение интенсивности изнашивания происходит в результате изменений топографии и физико-механических свойств поверхностных слоев трущихся тел в процессе приработки, что в свою очередь приводит к изменению фрактальной размерности. Фрактальная размерность - индикатор этих изменений, но не их причина.

2. Гайдар Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение и технология машиностроения», **Пикина Анна Михайловна**, к.т.н., доцент каф. «Материаловедение и технология машиностроения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева». *Замечания:* 1) В автореферате недостаточно представлен материал по актуальности темы. 2) В автореферате присутствуют плохо читаемые графики и схемы (например: рис. 4 и 6), что затрудняет правильное понимание предлагаемых решений и полученных результатов.

3. Огар Пётр Михайлович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Братский государственный университет». *Замечания:* 1) В обзорной главе 1 не упоминается методика моделирования поверхности с использованием модифицированного уравнения Вейерштрасса-Мандельброта, согласно которой фрактальные параметры определяются по заданным (измеренным) высотным и шаговым параметрам шероховатости (см. [28] диссертации). 2) Контакт единичной неровности рассмотрен без учета влияния остальные

контактирующих неровностей. 3) Не ясно, как связана фрактальная размерность пористого тела при расчетах герметичности с фрактальной размерностью исходной поверхности.

4. **Войнов Кирилл Николаевич**, д.т.н., академик Санкт-Петербургской Инженерной академии, профессор, член межведомственного совета по трибологии в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук». *Замечания:* 1) не указано число опытов, проведённых в экспериментах, что не позволяет оценить уровень доверительной вероятности в оценке результатов. 2) Зависимость коэффициента трения на рис. 11 дана уже аппроксимированной кривой без представления реальных границ/точек рассеивания. 3) Угол наклона неровностей – величина переменная и принимать её как константу является сильным допущением. 4) Нет ясности, как определялась длина извилистости канала протекания.

5. **Погонышев Владимир Анатольевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматика, физика и математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет». *Замечания:* 1) Удалось ли в работе экспериментально подтвердить достоверность полученного критерия перехода из пластического состояния в упругое? Это вопрос пересекается с подтверждением действительного количества пятен контакта, находящихся в упругом и пластическом состоянии, а также величины их нагрузочной способности. 2) К какой технологической обработке ближе всего рекомендуемая фрактальная размерность поверхности $D = 2,5$? Что, если её обеспечивать всем поверхностям трения – тогда долговечность всех их будет максимальной? 3) Какие конкретно есть ограничения в применении предлагаемой методологии? Можно ли её применять, например, при наличии в контакте смазки, абразива и т.д.?

6. **Порошин Валерий Владимирович**, д.т.н., профессор, ректор

автономной некоммерческой организации дополнительного профессионального образования "Институт развития новых образовательных технологий". Замечания: 1) В автореферате не описывается план-структура проведённых испытаний и проверка адекватности результатов моделирования. 2) Не до конца понятно, чем можно обеспечить требуемую фрактальную размерность поверхности. 3) Предложенная методика не учитывает структуру металла – зернистость, наличие технологических напряжений, трещин и т.д., что даст свой немалый процент погрешности.

7. Сedaкова Елена Борисовна, д.т.н., доцент, зав. лабораторией трения и износа Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем машиноведения Российской Академии наук». *Без замечаний.*

8. Цветков Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология судоремонта» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова». Замечания: 1) Автор в автореферате пишет о найденном способе управлять триботехническими характеристиками, в частности, износостойкостью, путём подбора оптимальной микрогеометрии, определяемой соответствующим значением фрактальной размерности. Однако, непонятно, насколько сложно при современном уровне развития технологий, получать поверхности с заданным значением фрактальной размерности. 2) В положении 6, выносимом на защиту, указывается модель изнашивания фрактальных поверхностей при малых нагрузках, которая основана на анализе деформационного состояния пятен контакта микронеровностей Однако из содержания главы 5, изложенного в автореферате, не видно, что проводился анализ деформационного состояния. Чисто геометрический подход для оценки деформационного объёма V_p вряд ли можно назвать анализом деформационного состояния. 3) Задача оценки интенсивности изнашивания фрактальной поверхности решалась с

использованием модели усталостного изнашивания И. В. Крагельского, которая имеет скорее научное значение, чем прикладное, так как основана на большом количестве допущений, которые далеки от реальной картины. В этой связи вызывают вопросы сравнительные данные значений интенсивности изнашивания l_h , приведённые в табл. 1 автореферата. Автор приводит в табл. 1 значения l_h , полученные по традиционной методике (очевидно, имеется в виду усталостная модель И. В. Крагельского), полученные по методике, предлагаемой автором, и полученные экспериментально, из которых следует, что значения по предлагаемой методике ближе к экспериментальным значениям, чем полученные по усталостной модели. Однако известно, что расчёты по усталостной модели дают разброс $\pm 250\%$ (при доверительной вероятности 95 %), и дело даже не в том, что сам по себе процесс усталостного разрушения носит вероятностный характер и, например, для многоциклового усталости такой разброс - обычное явление, но также, в частности, в применимости выражений для расчёта количества циклов (n_p и n_e) до разрушения, так как необходимо знание схемы напряжённого состояния на конкретной поверхности трения, и во многом др. А поэтому все значения, приведённые в табл. 1, лежат в пределах характерной полосы разброса, и вряд ли можно говорить о том, что предлагаемая методика даёт гораздо более точные результаты расчёта.

9. **Чулкин Сергей Георгиевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология судостроения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». *Замечания:* 1) Почему автор не ссылается на В.С. Комбалова, посвятившего значительное количество работ исследуемой автором проблеме? 2) Из рис.15 неясно, какая пара трения моделируется - прямая или обратная? 3) В связи предыдущим вопросом непонятно: износ какой детали имеется в виду на рис.14? Если керамической, то из собственного опыта знаю, что достичь реально измеримого износа такой детали за 5-15 мин весьма проблематично.

10. Отзыв кафедры «Общетехнические дисциплины и физика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет» за подписью зав. каф., к.т.н., доц. Камынина Виктора Викторовича. *Замечания:* 1) Из автореферата не понятно, учитывалось ли взаимное влияние микровыступов при оценке контактного взаимодействия? 2) Позволяет ли предложенная методика моделировать технологические следы обработки поверхностей при изготовлении? 3) Возможно ли применить предложенную методику для оценки остаточного ресурса работающего трибосопряжения?

11. Шульга Геннадий Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». *Замечания:* 1) В разработанной имитационной модели автор приводит взаимодействие одной плоской поверхности без шероховатости, а другой шероховатой, на которой происходит деформации единичных неровностей. В реальных условиях при трении и стационарном режиме трения образуется равновесная шероховатость (по теории профессора, д.т.н. Э.В. Рыжова) с текстурой поверхности, отличной от получаемой при сближении контактирующих поверхностей и представленной в имитационной модели. 2) Автор приводит исследования по расчету герметичности уплотнительных устройств в гидравлической системе транспортной техники. Однако им недостаточно полно описаны узлы трения автомобильного транспорта, где можно использовать фильтрационную модель протекания жидкости и щелевую модель оценки утечки жидкости.

12. Оганьян Эдуард Сергеевич, д.т.н., главный научный сотрудник АО «ВНИКТИ», Князев Дмитрий Александрович, к.т.н, заместитель заведующего отделением ДиППСиС АО «ВНИКТИ», г. Коломна. Без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается их способностью определить научную и практическую ценность диссертации, компетентностью и высокой квалификацией в своей отрасли, наличием публикаций в соответствующей области исследования. Официальные оппоненты не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация не имеет договорных отношений с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана обогащающая научную концепцию инженерии поверхности научная идея многоуровневого геометрического описания трехмерной поверхности, с учетом макроотклонений, волнистости и шероховатости, методами фрактальной геометрии и имитационного моделирования;

предложена оригинальная научная гипотеза о критической площади пятна контакта как критерия перехода первичного пятна контакта от пластического состояния к упругому, объясняющая нелинейность зависимости сближения от нагрузки и позволяющая разграничить области применения фрактальной модели и модели Герца;

доказано наличие ранее неизвестных связей между фрактальной размерностью поверхности и распределением пятен фактического контакта, величиной деформационной и адгезионной составляющих коэффициента трения, интенсивностью изнашивания поверхности в режиме приработки;

получено выражение для оценки полного коэффициента трения между сопряжёнными поверхностями при малых нагрузках на основе анализа деформационного состояния пятен контакта и их микрогеометрии.

введены понятия: оптимальной фрактальной размерности поверхности, соответствующей минимуму коэффициента трения; критической площади пятна контакта как критерия перехода первичного пятна контакта от пластического состояния к упругому.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что распределение пятен фактического контакта подчиняется

степенному закону, где его переменные зависят от микрогеометрии сопряжённых поверхностей и вида обработки, а также показатель степени функции распределения коррелирует с фрактальной размерностью поверхностей и в среднем линейно растёт с ростом фрактальной размерности;

доказано, что представление межконтактного зазора поверхностей в виде пористой среды позволяет с помощью математического и имитационного моделирования оценить герметичность уплотнительных металл-металлических устройств путём расчёта фактических параметров протекания уплотняемой среды на основе решения контактной задачи.

применительно к проблематике диссертации результативно использовано имитационное моделирование контактного взаимодействия инженерных поверхностей для оценки параметров контакта и триботехнических характеристик пар трения;

изложены научные положения о механизме изнашивания инженерных поверхностей при малых нагрузках, в соответствии с которыми снижение интенсивности изнашивания в режиме приработки происходит при снижении фрактальной размерности поверхности за счёт износа фактических пятен контакта, находящихся в пластическом состоянии, а при установившемся режиме работы интенсивность изнашивания постоянна, так как большинство пятен контакта уже перешли в упругое состояние и фрактальная размерность поверхности практически не меняется;

раскрыто противоречие различной интенсивности изнашивания пар трения при одинаковых режимах эксплуатации на этапе приработки и после его завершения;

изучены связи между фрактальной размерностью поверхности и генезисом пятен фактического контакта, их соотношением в пластическом и упругом состоянии, с момента первичного контакта и последующего сближения контактирующих поверхностей до установившегося режима эксплуатации, установлены границы рационального применения фрактальной модели поверхности;

определена оптимальная фрактальная размерность поверхности $D_S = 2,5$, соответствующая минимуму коэффициента трения и интенсивности изнашивания, при $D_S < 2,5$ коэффициент трения в основном определяется адгезионными свойствами материала и растёт с уменьшением фрактальной размерности, а при $D_S > 2,5$ коэффициент трения в основном определяется деформационной составляющей и растёт с ростом фрактальной размерности.

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

разработаны методики, алгоритмы и компьютерные программы для ЭВМ, позволяющие на этапе проектирования трибосистем: создавать адекватные 3D модели инженерных поверхностей с высокой детализацией и следами обработки по заданным исходным параметрам с учётом случайных отклонений; оценивать контактную жёсткость стыка при малых нагрузках путем идентификации упруго-пластического состояния контакта; рассчитывать величину износа и время изнашивания микронеровностей под действием заданной нагрузки;

создана база данных поверхностей на основе СУБД MySQL, которая включает в себя карты реальных поверхностей и их моделей с разными параметрами, что упрощает и автоматизирует дальнейшие исследования при выборе оптимального сочетания образцов при проектировании трибосистем.

предложен новый способ более точной оценки адгезионной составляющей коэффициента трения на нано-уровне по величине отклонения иглы кантилевера атомно-силового микроскопа при прямом и обратном сканировании гладких образцов поверхностей;

разработаны и внедрены на МУП «Брянское городское предприятие» методика проведения планово-предупредительного ремонта уплотнительных устройств гидравлической системы автобусной техники на основе применения компьютерной программы по расчёту герметичности уплотнительных металл-металлических устройств с годовым экономическим эффектом только по одному предприятию в 1,2 млн. руб.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана приемлемая сходимость результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных при оценке триботехнических характеристик пар трения и герметичности;

теория построена на известных методах математического и физического моделирования процессов и корректно согласуется с опубликованными в литературе и полученными лично соискателем экспериментальными данными;

идея работы базируется на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области моделирования микрогеометрии и контактного взаимодействия инженерных поверхностей, с целью оценки триботехнических характеристик кинематических пар трения, работающих при малых нагрузках.

установлено, что результаты диссертационной работы не противоречат данным известных научных исследований в области трения, изнашивания и герметичности, а дополняют и уточняют их для кинематических пар трения, работающих при малых нагрузках или в режиме приработки, а также при оценке герметичности металл-металлических уплотнительных устройств.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах выполнения диссертационной работы, включая получение исходных данных и результатов научных экспериментов, обработке и интерпретации данных, доработке лабораторных установок, разработке методики проведения экспериментов, проведение экспериментальных испытаний, разработке математических моделей и написании программ для ЭВМ, подготовку основных публикаций по выполненной работе, а также формулировании положений, основных выводов и результатов диссертационного исследования.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания, касающиеся предложенных автором моделей, методик оценки триботехнических характеристик и герметичности, а также способов проведения экспериментальных исследований.

Соискатель Измеров М.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 31 мая 2024 г. диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений совокупность, которых можно квалифицировать как научное достижение в развитии теорий трения, изнашивания, контактной жесткости и герметичности, присудить Измерову М.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 9 докторов наук по специальности 2.5.3 – «Трение и износ в машинах», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета 99.0.033.02,

доктор технических наук,

профессор

Федонин Олег Николаевич

Ученый секретарь диссертационного совета 99.0.033.02,

кандидат технических наук,

доцент

Хандожко Виктор Александрович

Дата оформления заключения: 31.05.2024 г.

