

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д999.112.02,

созданного на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № _____,

решение диссертационного совета от 29.11.2018 г. № 11,

о присуждении Хопину Петру Николаевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Комплексная оценка триботехнических показателей сопряжений с твердосмазочными покрытиями» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 27 августа 2018 года, протокол № 3, диссертационным советом Д999.112.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 241035, г. Брянск, ул. 50 лет Октября, д. 7, приказ о создании диссертационного совета №1335/нк от 25.10.2016 года.

Соискатель, Хопин Петр Николаевич, 1955 года рождения, работает профессором федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование влияния эксплуатационно-технологических факторов на

работоспособность узлов трения летательных аппаратов с применением твердосмазочных покрытий на основе дисульфида молибдена» защитил в 1982 году в диссертационном совете, созданном на базе Московского авиационного технологического института им. К.Э.Циолковского Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов», федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук Курапов Павел Анатольевич, филиал «Научно-исследовательский институт технологии и организации производства деталей» акционерного общества «Научнопроизводственный центр газотурбостроения «Салют», ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Годлевский Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный университет», профессор кафедры «Экспериментальная и техническая физика».

Скотникова Маргарита Александровна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», заведующая кафедрой «Машиноведение и основы конструирования».

Шаповалов Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет

путей сообщения», заведующий кафедрой «Транспортные машины и триботехника», заслуженный деятель науки РФ.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» г. Уфа в своем положительном отзыве, подписанном Миграновым Марсом Шарифулловичем доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин» и утверждённым Криони Николаем Константиновичем доктором технических наук, профессором, ректором, указала, что диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком уровне и соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, в которой научно обоснованные технические и технологические решения направлены на решение важной задачи комплексной оценки триботехнических показателей ответственных узлов авиационнокосмической техники, в том числе перспективных космических аппаратов с увеличением сроков их эксплуатации до 10 и более лет, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности. В заключении отмечено, что научный и технический уровень, высокое качество, внутреннее единство теоретических и практических положений работы, научная новизна, практическая значимость и технико-экономическая целесообразность полученных результатов позволяет сделать заключение, что диссертация отвечает требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Хопин Петр Николаевич – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 66 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 63 работы общим объемом 37,8 печатных листов; 24 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях; 3 публикации в

зарубежных изданиях, включенных в международные базы цитирования (Web of Science, Scopus).

Получены 4 авторских свидетельства. Публикации, в том числе, написанные в соавторстве, отражают результаты, полученные лично автором.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Хопин, П. Н. Экспериментальная оценка работоспособности пар трения с твердосмазочным покрытием в зависимости от температурного фактора / П. Н. Хопин, О. В. Попов, В. А. Комаров // Трение и износ. – 1985 – Т. 6. – № 6. – С. 1109 – 1116.

2. Хопин, П. Н. Сравнительная оценка работоспособности самосмазывающихся материалов при трении на воздухе / П. Н. Хопин, А. В. Петренко, Н. В. Фролова Т. Ф. Губанова, И. В. Александров // Пластические массы. – 1991. – № 10. – С. 25 – 27.

3. Хопин, П. Н. Исследование теплофрикционных характеристик самосмазывающихся материалов в вакууме по сравнению с твердосмазочными покрытиями / П. Н. Хопин, В. А. Комаров, Т. Ф. Губанова // Авиационная промышленность. – 1992. – № 3. – С. 38-40.

4. Хопин, П. Н. Теплофрикционное состояние контакта при трении самосмазывающихся материалов и твердосмазочных покрытий в нормальных атмосферных условиях / П. Н. Хопин // Пластические массы. – 1992. – № 3. – С. 39 – 40.

5. Хопин, П. Н. Разработка расчетного метода комплексной оценки работоспособности пар трения с твердосмазочным покрытием / П. Н. Хопин // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – № 6. – С. 1045 – 1051.

6. Хопин, П. Н. Оценка долговечности твердосмазочных покрытий на основе анализа топографии поверхностей трения / П. Н. Хопин // Трение и износ. – 1995. – Т. 16. – № 4. – С. 787 – 793.

7. Хопин, П. Н. Оценка работоспособности пар трения с твердосмазочными покрытиями в различных условиях функционирования / П. Н. Хопин // *Авиационная промышленность*. – 2010. – № 2 – С. 49 – 52.
8. Хопин, П. Н. Исследование прирабатываемости пар трения с твердосмазочными покрытиями / П. Н. Хопин // *Технология машиностроения*. – 2011. – № 7 (109). – С. 44 – 49.
9. Хопин, П. Н. Разработка и опробование метода определения предельных и оптимальных нагрузочно-скоростных режимов трения смазочных покрытий / П. Н. Хопин // *Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер.: Машиностроение*. – 2011. – № 3 (84). – С. 48 – 55.
10. Хопин, П. Н. Оценка комплексного влияния технологических факторов на долговечность пар трения с твердосмазочными покрытиями / П. Н. Хопин // *Справочник. Инженерный журнал*. – 2012. – № 2 (179). – С. 47 – 52.
11. Khopin P.N. Method and Results of Assessment of the Performance of Friction Pairs with Solid Lubricating Coatings under Various Operating Conditions. *Journal of Friction and Wear*. – 2012. – Volume 33, – Number 1. – pp. 14 – 21. DOI: 10.3103/S1068366612010060.
12. Хопин, П. Н. Влияние атмосферы соляного тумана на работоспособность твердосмазочных покрытий / П. Н. Хопин // *Справочник. Инженерный журнал*. – 2012. – № 6 (183). – С. 52 – 54.
13. Хопин, П.Н. Методика и результаты оценки корреляции теплофрикционных характеристик твердосмазочных материалов для различных условий эксплуатации / П. Н. Хопин // *Справочник. Инженерный журнал*. – 2012. – № 11 (183). – С. 20 – 26.
14. Хопин, П. Н. Об оценке антифрикционных характеристик пар трения с твердосмазочными покрытиями различных составов / П. Н. Хопин // *Авиационная промышленность*. – 2013. – №1. – С. 42 – 52.
15. Khopin P.N. Assessment of Antifriction Characteristics of Friction Pairs with Solid Lubricating Coatings under Various Operating Conditions. *Journal of*

Friction and Wear. – 2015. – Volume 36. – Number 5. – pp. 491 – 498. DOI: 10.3103/S1068366615050074.

16. Хопин, П. Н. Оценка работоспособности пар трения с твердосмазочными покрытиями в условиях вакуума / П. Н. Хопин // Вестн. НПО им. С.А.Лавочкина. – 2016. – № 2. – С. 85 – 90.

17. Хопин, П.Н. Термокорреляционная оценка работоспособности пар трения твердосмазочными покрытиями для нормальных атмосферных условий. / П. Н. Хопин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – №5. – С. 225 – 229.

18. Хопин, П.Н. Исследование периода приработки пар трения с твердосмазочными покрытиями в условиях нормальной атмосферы / П. Н. Хопин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – №6. – С.269 – 273.

19. Хопин, П.Н. Оценка работоспособности пар трения с твердосмазочными покрытиями в условиях вакуума на основе регрессионных зависимостей / П. Н. Хопин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – №7. – С.317 – 320.

20. Хопин, П.Н. Оценка долговечности пар трения с твердосмазочными покрытиями различных составов отечественного и зарубежного производства / П.Н. Хопин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – №1(694). – С.84 – 93.

21. Khopin, P.N. Test Analysis of Friction Couples With Solid Lubricant Coatings under Ground Space Conditions and Prediction of Tribological Characteristics. – Journal of Friction and Wear. – 2018. – Volume 39, Number 2 – pp. 137 – 144. DOI: 10.3103/S1068366618020071.

22. Хопин, П. Н. Работоспособность твердосмазочных покрытий в различных условиях / П. Н. Хопин. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 179 с.

23. Хопин, П. Н. Комплексная оценка работоспособности пар трения с твердосмазочными покрытиями в различных условиях функционирования / П. Н. Хопин. – М.: МАТИ-РГТУ. – 2012. – 255 с.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные:

1. В.В. Измайлов, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Прикладной физики» ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет.

Замечания:

1) В автореферате крайне неудачно определены объект и предмет исследования (кстати, это не одно и то же?). Объект обозначен слишком широко, а предмет – вообще некорректно, так как «разработка» чего-либо не может быть предметом исследований. Целью – да, но не предметом (см. соответствующий пункт на стр. 5 автореферата). Между тем, очертив более конкретно объекты (или предметы) исследований, автор тем самым дал бы обоснование выбору диапазонов варьирования определяющих факторов при построении регрессионных зависимостей (температуры, остаточного давления среды, скоростей скольжения и т.д.), приведенных на стр. 10 автореферата. Судя по реализации результатов исследований, а также по заявлениям автора на стр. 3 автореферата (при обосновании актуальности темы), его задачей было в первую очередь обеспечение надежности изделий авиационной и космической техники. Но если речь заходит о космической технике, возникает вопрос о влиянии низких и криогенных температур на работу узлов с ТСП, а такие температуры не рассмотрены в работе. Почему? Зато исследована довольно специфическая атмосфера морского тумана, которая, если и имеет отношение к авиационной технике, то лишь к довольно узкой ее разновидности – палубной авиации. Остаточное давление среды (вакуум) в экспериментах автора, судя по тексту автореферата, ограничено одним значением, равным 4 мПа. Почему именно 4, а не 40, или 0,4 мПа? Одним словом, диапазон варьирования определяющих факторов в автореферате практически не обоснован.

2) В тексте автореферата автор периодически использует на равных два выражения: «температура трения» и «температура поверхности контакта». Не ясно, это одна и та же температура, или нет, и если нет, то в чем разница. Первый термин, на наш взгляд, вообще некорректный (у трения, как явления, не может быть температуры), а относительно второго неясно, что конкретно за ним скрывается: это температура на пятне фактического контакта (т.н. температура вспышки), или средняя температура поверхности контакта? Как измерялась (если измерялась) эта величина в экспериментах?

3) В таблицах 1, 2, 3 автореферата указаны марки и состав ТСП, но не указаны материалы подложки и контртела. Почему? Они не играют роли?

4) В уравнении (10), по-видимому, опечатка, так как оно противоречит рис. 5, иллюстрирующему это уравнение (характер зависимостей $f_{тр.}(T_{гр})$ по уравнению и по рисунку противоположный).

2. А.В. Колумбаев, д. ф. - м. н., профессор, зав. лабораторией «Физики упрочнения поверхности» ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения» Сибирского отделения Российской академии наук

Замечания:

1) В автореферате (11 стр.) описываются экспериментальные данные об изнашивании твердосмазочных покрытий, но фактические результаты – профилограммы, металлографические изображения поверхности – отсутствуют.

2) На странице 21 автореферата приводится уравнение предельного режима трения, которому соответствует температура разрушения твердосмазочного покрытия, но автор не показывает, что представляет собой это разрушение.

3) Очень пространно написан раздел «выводы», в котором практически отсутствуют выводы по работе, а приводятся результаты исследований.

3. В.А. Горелов, д.т.н., заместитель директора филиала «НИИД» АО «НПЦ газотурбостроения «Салют».

Замечания:

1) В зарубежной литературе приводятся результаты исследований твердосмазочных покрытий магнетронного нанесения, являющихся современной альтернативной суспензионным покрытиям, что должно быть отражено в материалах диссертации.

2) В автореферате в ряде случаев отсутствуют диапазоны предложенных диссертантом регрессионных зависимостей интенсивности изнашивания и коэффициента трения твердосмазочных покрытий различных типов от температуры трения.

4. В.В. Непомилуев, д.т.н. профессор кафедры «Организации производства и управления качеством» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева».

Замечания:

1) В автореферате недостаточно обоснован выбор марок самосмазывающихся материалов и материалов контртел для проведения исследований.

2) Из автореферата не ясно, на каком основании выбирался основной уровень и интервалы варьирования факторов при исследовании влияния температурного фактора на модернизированной установке для комплексных испытаний, а также при исследовании основных триботехнических показателей узлов трения с твердосмазочными покрытиями в вакууме на стенде изучения трения и износа в вакууме, о чем сообщается на с. 10 и с. 11 автореферата.

3) На рис. 3 автореферата приводится зависимость интенсивности изнашивания от суммарной температуры трения, однако на графике отсутствуют обозначения доверительных интервалов, также обозначения доверительных интервалов отсутствуют и на рис. 11.

5. Ю.В. Панфилов, д.т.н. профессор, зав. кафедрой «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Замечания:

1) Диапазоны варьирования температуры при исследовании сопряжений с ТСП желательно было расширить в область отрицательных температур, что очень важно для сопряжений, работающих в космосе.

2) При испытаниях сопряжений с ТСП и самосмазывающихся материалов не произведена сравнительная оценка их износостойкости.

6. В. В. Гриб, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Замечания:

1) В работе не проведено исследование триботехнических характеристик рассматриваемых сопряжений в условиях пониженной температуры, которая является одним из важнейших факторов при работе узлов, функционирующих в условиях вакуума.

2) В автореферате не приведена динамика изменения толщины твердосмазочного покрытия в процессе наработки, имеющая существенное значение при оценке интенсивности изнашивания.

7. Е.В. Торская, д.ф.-м. н., проф. РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории «Трибологии» Института проблем механики (ИПМ) им. А.Ю. Ишлинского РАН; Б.Я. Сачек, к.т.н. научный сотрудник лаборатории «Трибологии» (ИПМ) им. А.Ю. Ишлинского РАН.

Замечания:

1) В автореферате не указано, для какой степени разряжения получены регрессионные зависимости для условий вакуума.

2) В уравнениях (12) и (13) для оценки ресурса и коэффициента трения трибосопряжений с ТСП, функционирующих при повышенной температуре, не

описана схема испытаний и место установки термопары для оценки объемной температуры нагрева.

3) В автореферате не указано, как определялась толщина покрытий и насколько они однородны по толщине.

4) Можно предположить, что степенные зависимости ресурса от температуры (5) и (8) получены для разных условий, но из текста реферата этого не следует.

5) В качестве входного параметра в первой части автореферата используется нагрузка, целесообразнее было бы везде использовать давление.

6) Не ясно, почему в соотношении (2) постулируется линейный износ.

7) Температура поверхности трения ($T_{тр.}$) используется в работе то как параметр оптимизации (ур. 3,9, 14, 20, табл. 2 и др.), то как эксплуатационный фактор (ур. 4 – 8, 10, табл. 1 и др.). Это разные ипостаси этого критерия. Во втором случае в соответствии с общепринятыми требованиями (Ю. Я. Евдокимов и др. «Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа», «Наука», Москва, 1980) он должен быть однозначным, управляемым и независимым от других факторов, что невозможно обеспечить, коль скоро $T_{тр.}$ сама является функцией режимных факторов, в частности P и V .

8) Как следует из уравнения (7), экспериментально полученная зависимость $I_h = f(T_{тр.})$ практически линейна, а математически адекватная ее расчётная альтернативная зависимость $t = f(T_{ф.})$ (ур. 8) оказывается степенной. Как это можно объяснить?

9) В автореферате не отражены средства и методы контроля кинетики изнашивания ТСП ВНИИ НП – 212. Тем не менее, вывод о том, что «...вне зависимости от исходной толщины ТСП основная часть изношенного слоя (75...80%) приходится на период приработки и лишь 20...25% – на установившейся режим трения» согласуется с результатами ранее выполненного аналогичного исследования износостойкости этого же покрытия (автореферат дисс. к.т.н. «Исследования физико-механических свойств твердосмазочных дисульфидмолибденовых покрытий с целью прогнозирования

их триботехнических характеристик» Калинин, 1990) практически с тем же итоговым выводом: «Установлено, что за период приработки исходный слой ТСП изнашивается на 70...80%, а оставшийся слой обеспечивает 80...90% всего ресурса его работоспособности».

10) В этой же работе экспериментально показано, что «...вследствие фрикционного переноса материала покрытия на рабочую поверхность контртела за период приработки на ней формируется равновесная шероховатость порядка 9-го класса независимо от качества исходной поверхности контртела». По этой причине использование автором параметра R_z (ур.1) как фактора спланированного эксперимента представляется нецелесообразным, тем более, что, согласно ГОСТ 2789-73 и 2.309-73 в пределах самых ходовых (6 – 12 кл.) в технологии металлообработки классов шероховатости он вообще не регламентируется.

8. В.В. Журавлев, д.т.н., профессор, Главный технолог АО «Научно - исследовательский институт природных, синтетических алмазов и инструмента» (АО «ВНИИАЛМАЗ»).

Замечания:

1) В качестве замечаний необходимо отметить желательность получения комплексных моделей влияния как конструкционно-технологических, так и эксплуатационных условий на триботехнические показатели сопряжений: интенсивность изнашивания, антифрикционные свойства.

2) В исследованиях не нашел отражение вопрос влияния отрицательных температур на исследуемые характеристики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- закономерности влияния нагрузочно – скоростных режимов для широкого диапазона их изменений на эксплуатационную температуру при трении, а также регрессионные зависимости интенсивности изнашивания от температуры твердосмазочных покрытий (ТСП) различных составов применительно к нормальным атмосферным условиям и условиям вакуума;

- закономерности влияния эксплуатационной температуры на коэффициент трения для нормальных атмосферных условий и условий вакуума;

предложены:

- метод определения предельных и оптимальных нагрузочно – скоростных режимов трения ТСП, позволяющий получать на основании математической модели зависимости для оценки предельных и оптимальных режимов трения;

- метод комплексной оценки триботехнических показателей пар трения на основании разработки математических моделей, описывающих влияние эксплуатационно-технологических факторов на триботехнические показатели сопряжений с ТСП.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано определяющее влияние температурного фактора на интенсивность изнашивания и коэффициент трения рассматриваемых сопряжений как для условий нормальной атмосферы, так и для вакуума, что позволяет разработать методики оценки триботехнических показателей сопряжений с ТСП для различных условий эксплуатации;

получена модель для расчета интенсивности изнашивания в нормальных атмосферных условиях фрикционных сопряжений с ТСП на основе MoS₂ с органическим связующим в зависимости от скорости скольжения, нагрузки, толщины ТСП, шероховатости основы и твердости контртела в результате

реализации предложенного расчетного метода комплексной оценки триботехнических показателей пар трения, основанного на проведении планируемого эксперимента, в котором используются имеющиеся в литературе однофакторные зависимости. Полученная модель может быть использована для оценки триботехнических параметров, рассматриваемых ТСП при различных сочетаниях конструкторско-технологических факторов для условий нормальной атмосферы. Использование данного метода позволяет существенно сократить объем экспериментальной работы и затраты времени;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с применением обладающих новизной результатов) использованы понятийный и математический аппарат теорий трения и изнашивания, регрессионного и дисперсионного анализов, теории планирования эксперимента;

изложены:

- методика оценки интенсивности изнашивания для пар трения с ТСП с использованием универсальных регрессионных зависимостей температуры трения от нагрузочно - скоростных параметров работы узла и регрессионных зависимостей интенсивности изнашивания от температуры трения для нормальной атмосферы и вакуума;

- методика оценки антифрикционных свойств пар трения с ТСП на основе использования регрессионных зависимостей температуры трения от контактного давления и скорости скольжения узла и регрессионных зависимостей коэффициента трения от температуры трения для нормальной атмосферы и вакуума;

изучены:

- динамика изменения величины износа рассматриваемого покрытия,
- микрогеометрия контактирующих поверхностей на различных этапах наработки;

- рентгеновский микроанализ поверхностей трибосопряжения с применением твердосмазочного покрытия.

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

использование разработанных методик и математических моделей позволяет:

- на стадии конструкторской подготовки производства с достаточной для практики точностью рассчитать для нормальных атмосферных условий, вакуума и повышенной температуры триботехнические показатели сопряжений с ТСП различных составов;
- существенно снизить "стоп-эффект" за счет использования материала контртела с более выраженными пластическими свойствами;
- более точно по сравнению с имеющимися способами осуществить контроль времени приработки;

разработаны и внедрены в производственный процесс:

- методика оценки работоспособности узлов трения с применением твердосмазочных покрытий для условий нормальной атмосферы и вакуума, внедренной на предприятиях ФГУП «Государственный космический научнопроизводственный центр имени М.В. Хруничева» (КБ «Салют»), ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» в конструкторской практике для оценки долговечности и теплофрикционных характеристик узлов трения с твердосмазочными покрытиями, в том числе при разработке агрегатов РКН и КА (письмо ФГУП ГКНПЦ им. М.В.Хруничева №22/2947 от 13.06.12г., акт внедрения ФГУП ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского от 30.05. 2012г.);
- методика и модернизированная установка для проведения испытаний на трение и износ в вакууме (авторское свидетельство № 926573 "Устройство для испытания материалов на трение и износ". "Бюллетень изобретений", 1982, № 17), внедренные на предприятии п/я Р-6601, что позволило осуществить комплексные испытания имитаторов пар трения изделия с существенным годовым экономическим эффектом;

- механизированное приспособления для нанесения ТСП на предприятии п/я Р-6601; экспериментально отработанные режимы нанесения обеспечили качественное напыление указанных покрытий на поверхности узлов трения, в результате чего повышены качество и надежность изделия;
- технологическое обеспечение работоспособности пар трения применением покрытий для реальных узлов трения на предприятии ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют», позволившего повысить долговечность ряда узлов изделия с существенным годовым экономическим эффектом;
- рекомендации «Выбор оптимальных твердосмазочных покрытий для пар трения и расчет их характеристик», используемой в технологической практике при разработке технологических процессов нанесения твердосмазочных покрытий в узлах трения на предприятии ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»;
- способ контроля времени приработки (а.с.1059485), внедренный на БЕЛАЗе, г. Жодино, Беларусь.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, обоснованы калибровки разработанных экспериментальных стендов и установок, показана приемлемая сходимость результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных;

теория, построенная с использованием известных, повторяющихся данных, корректно согласуется с опубликованными и собственными экспериментальными данными по теме диссертации и по смежным отраслям;

идея базируется на обобщении передового отечественного и зарубежного опыта в области изнашивания и на основе анализа существующих теоретических и экспериментальных исследований триботехнических характеристик сопряжений с твердосмазочными покрытиями;

установлено, что результаты диссертационного исследования не противоречат научным исследованиям в области трения и изнашивания и

дополняют их в части подхода к оценке основных триботехнических показателей сопряжений с твердосмазочными покрытиями;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии автора на всех этапах подготовки диссертационной работы, включая: анализ теоретических положений; разработку математических моделей в результате обработки экспериментальных данных; разработку и тарировку экспериментальных стендов и установок; проведение экспериментальных испытаний; обработку и интерпретацию экспериментальных данных; подготовку основных публикаций по выполненной работе; формулирование положений, выводов и результатов диссертационного исследования.

Диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней ВАК РФ. В работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно обоснованные конструкторско - технологические рекомендации для практического применения результатов выполненных исследований в целях снижения интенсивности изнашивания фрикционных сопряжений с ТСП как на этапе конструкторской подготовки (расчет ресурса, коэффициента и контактной температуры трения, оценка влияния «стоп-эффекта», подбор оптимальных технологических параметров и типов смазочных материалов и др.), так и в производстве (механизированное нанесение ТСП, оценка времени приработки и др.). Проведена оценка

триботехнических показателей пар с ТСП для реальных узлов, функционирующих в вакууме и в условиях нормальной атмосферы.

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком уровне и соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842, в которой научно обоснованные технические и технологические решения направлены на решение важной задачи комплексной оценки триботехнических показателей ответственных узлов авиационнокосмической техники, в том числе перспективных космических аппаратов с увеличением сроков их эксплуатации до 10 и более лет, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности.

На заседании 29 ноября 2018 года диссертационный совет принял решение присудить Хопину П.Н. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования, члены диссертационного совета в количестве 23 человек, из них 11 докторов технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета (дополнительно введены на разовую защиту 0 человек) проголосовали: за – 22, против – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент



Олег Николаевич Федонин



Виктор Александрович Хандожко

29 ноября 2018 г.