

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «Уфимский  
государственный авиационный технический  
университет»

д.т.н., профессор

Н.К. Криони

« 10 » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Хопина Петра Николаевича «Комплексная оценка триботехнических показателей сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах

### 1. Актуальность темы диссертации

Твёрдосмазочные покрытия нашли применение в самых различных областях техники, в том числе в ответственных узлах авиационно-космических механизмов и устройств, работающих в экстремальных условиях трения. Поэтому оценка основных триботехнических параметров таких сопряжений является актуальной конструкторской задачей. Однако имеющиеся в настоящее время зависимости для их оценки не позволяют учесть одновременное влияние нагрузочно-скоростных и технологических факторов для различных условий эксплуатации объектов при произвольном сочетании влияющих факторов для сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями различного состава.

В настоящее время важной проблемой является прогнозирование триботехнических показателей рассматриваемых сопряжений для узлов, работающих в условиях космоса длительностью до 10 и более лет.

Вышесказанное определяет актуальность решаемой в диссертации задачи разработки методов комплексной оценки триботехнических показателей сопряжений с твердосмазочными покрытиями с учетом модификации состава покрытий, а также влияния эксплуатационных факторов применительно к различным условиям функционирования.

## **2. Структура и содержание работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, основных результатов, выводов, библиографического списка, 4-х приложений. Каждая глава завершается выводами. Общий объем диссертационной работы 313 страниц. Работа иллюстрирована 126 рисунками и содержит 44 таблицы. Библиографический список литературы содержит 151 наименование. Содержание диссертации изложено грамотно в логической последовательности, принятая терминология и стиль изложения диссертации корректен и соответствует общепринятым нормам.

## **3. Личное участие автора в получении результатов диссертации**

По ключевым положениям диссертации издано свыше 30 опубликованных работ, в том числе получены 4 авторских свидетельства, 24 статьи опубликованы в перечне изданий, рекомендованных ВАК РФ и в международных цитируемых изданиях. Анализ опубликованных автором работ показывает, что основные положения, выносимые на защиту в диссертационной работе, получены автором лично.

## **4. Обоснованность и достоверность научных результатов**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечены подробным анализом работ отечественных и зарубежных ученых, близких к теме диссертационного исследования, определена выбором актуального направления исследований, применением современного математического аппарата с использованием основных положений теории трения, теории изнашивания, регрессионного и дисперсионного анализов, подтверждена многочисленными экспериментами с использованием современных технических средств при анализе, а также приемлемой сходимостью теоретических и эмпирических результатов.

## **5. Научная новизна диссертационного исследования**

Представленная автором диссертационная работа «Комплексная оценка триботехнических показателей сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями» отличается новизной полученных результатов, в том числе установлением закономерностей влияния нагрузочно-скоростных режимов на эксплуатационную температуру при трении, а также выявлением регрессионных зависимостей интенсивности изнашивания от температуры трения сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями различных составов применительно к нормальным атмосферным условиям и условиям вакуума. Автором разработан метод определения предельных и оптимальных нагрузочно-скоростных режимов трения рассматриваемых сопряжений, позволяющий получать на основании математической модели зависимости для оценки предельных и оптимальных режимов трения. Установлены закономерности влияния эксплуатационной температуры на коэффициент трения для нормальных атмосферных условий и условий вакуума. Предложен метод комплексной оценки триботехнических показателей пар трения на основании разработки математических моделей, описывающих влияние эксплуатационно-технологических факторов на триботехнические показатели сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями.

## **6. Практическая значимость работы и полученных результатов**

Диссертантом разработаны методики комплексной оценки триботехнических показателей сопряжений с твёрдосмазочными покрытиями и получены математические модели, позволяющие 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.

В работе обоснована возможность для нормальных атмосферных условий при низких контактных давлениях ( $P = 11\text{--}18$  МПа) и скоростях скольжения  $V < 0,4$  м/с использовать самосмазывающиеся материалы (СМ) типа

углеграфитового АТГ, наполненных фторопластовых антифрикционных материалов ГФ-5М, ВОЛАН-Ф, КВП-І, графитопласта АМС-5М, которые обладают меньшим коэффициентом и температурой трения, чем пара с ТСП ВНИИ НП 212, а при более напряжённых режимах трения-пара с ТСП ВНИИ НП 212. Сопряжения с ТСП ВНИИ НП 212 в сравнении с рассматриваемыми самосмазывающимися материалами оказались также более предпочтительными по антифрикционным и температурным характеристикам для работы в условиях вакуума (за исключением СМ АТГ) для диапазона температур трения от 40 до 200°С.

В работе разработан и опробован расчётный метод комплексной оценки триботехнических показателей пар трения, основанный на проведении математического планируемого эксперимента, в котором используются имеющиеся в литературе однофакторные зависимости. На первом этапе в результате проведения математического полнофакторного эксперимента были выявлены наиболее влияющие на износостойкость рассматриваемых сопряжений факторы. На втором этапе с помощью центрального ротатабельного композиционного плана 2 порядка исследовалось влияние выделенных ранее факторов, в результате чего для сопряжений с ТСП получена модель для расчёта интенсивности изнашивания в нормальных атмосферных условиях фрикционных сопряжений с ТСП на основе  $\text{MoS}_2$  с органическим связующим в зависимости от скорости скольжения, нагрузки, толщины ТСП, шероховатости основы и твёрдости контртела.

Разработаны эффективный способ существенного снижения "стоп-эффекта" за счёт использования материала контртела с более выраженными пластическими свойствами и более точный по сравнению с имеющимися способ контроля времени приработки (а.с. 1059485).

Определены технологические рекомендации и выбран оптимальный тип покрытия ВНИИ НП 212М, сохранившего свои смазочные свойства даже после пребывания в атмосфере соляного тумана в течение 7 суток.

Представленные акты внедрения ведущих предприятий авиационно-космической отрасли подтверждают актуальность разработок автора.

### **7. Соответствие диссертации научной специальности**

Представленная работа по своему содержанию и решаемым задачам исследования соответствует паспорту научной специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

### **8. Замечания по диссертации**

1. В комментариях к рисунку 3.32 диссертации указано, что при пусках узлов коэффициент трения возрастает до значений  $f_{тр} = 0,24-0,29$ . Но отсутствует объяснение «стоп-эффекта» в условиях космоса.

2. В диссертации не приведены четкие указания на граничные условия, в пределах которых полученные математические модели, в том числе по температуре фрикционного контакта и его изнашиванию, можно применять.

3. Полученная автором динамика изменения величины износа ТСП ВНИИ НП 212 в парах трения 30ХГСА (рисунок 3.7) никак не анализируется и не объясняется.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно и на высоком уровне и соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842.

Научно обоснованные технические и технологические решения диссертации Хопина П.Н. направлены на решение важной задачи комплексной оценки работоспособности ответственных узлов авиационно-космической 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.

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 Пётр Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Основы конструирования механизмов и машин» ФГБОУ ВО «УГАТУ», протокол № 3 от 08.10.2018г.

Заведующий кафедрой «Основы конструирования механизмов и машин», д.т.н., профессор

10.10.2018г.

Марс Шарифуллович Мигранов

Докторская диссертация защищена по специальности 05.03.01 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (ФГБОУ ВО «УГАТУ»), 450008, Республика Башкортостан  
г. Уфа, ул. К.Маркса, 12.

Тел. (347)273-07-34. e-mail: okmim@ugatu.ac.ru