

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента о диссертации Хопина Петра Николаевича «Комплексная оценка триботехнических показателей сопряжений с твердосмазочными покрытиями», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

### **1) Актуальность**

Диссертационная работа П.Н. Хопина посвящена вопросу экспериментальных методов оценки ТСМ. Эти покрытия по сравнению с другими вариантами формирования «третьего тела» в трибосопряжениях обладают уникальной устойчивостью и долговечностью в условиях экстремального трения в широком температурном диапазоне. Они экономны в отношении материалоемкости, способны сохранять триботехнические характеристики в течение длительного времени. Это дает возможности использовать такие покрытия в условиях неблагоприятной для трения внешней среды — для аппаратуры химической промышленности, наземного транспорта и авиакосмической техники.

### **2) Структура и содержание работы**

Рассматриваемая работа изложена на 313 страницах, содержит Введение, 6 основных глав, заключение, библиографический список (175 источников), включает в себя 126 иллюстраций, 44 таблицы. Имеются также 4 приложения, свидетельствующие о внедренческих итогах исследования.

Во «Введении» говорится об актуальности исследования, приводятся основные характеристики работы.

Апробация результатов исследования представляется достаточной. Автор выступал с докладами на научных конференциях российского международного уровней. Материалы диссертации с необходимой полнотой освещены в периодических научных изданиях: по теме диссертации опубликовано 63 научные работы, в том числе 24 работ в российских журналах по списку ВАК, две работы опубликованы на английском языке, в журналах, индексированных в базах Scopus и Web of Science (Журнал Friction and Wear). Содержание автореферата с необходимой полнотой отражает содержание диссертации.

В первой главе выполнен аналитический обзор проблемы разработки, применения, теоретических принципов действия ТСМ, Рассмотрены многочисленные подходы к теоретическому описанию и экспериментальному исследованию этих покрытий.

Во второй главе автор характеризует выбранные для исследования объекты и описывает используемые в работе приборы и методики, материалы, выбранные для испытаний.

В третьей главе приведена обширная информация о результатах разнообразных экспериментов по исследованию композиционных ТСП. В частности, здесь помещены результаты электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа по исследованию поверхностей трения с покрытиями. Даны уравнения регрессии для разных исследованных трибосистем.

В четвертой главе обсуждаются конструкторско-технологические аспекты нанесения покрытий и проектирования узлов трения с покрытиями.

Пятая глава насыщена результатами многофакторных экспериментов, в частности, даны результаты сопоставления особенностей трения ТСП и самосмазывающихся материалов.

В шестой главе сформулированы практические рекомендации по использовании результатов исследования.

В «Заключении» автор сформулировал основные научные и практические результаты диссертационного исследования в виде итоговых выводов из 10 пунктов.

В 4-х приложениях отражены данные о практическом использовании результатов работы.

Список использованной литературы достаточно полон, в нем присутствуют статьи, монографии, в том числе и зарубежные источники.

### **3) Оценка обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений**

Итоговые выводы диссертации сосредоточены в разделе «Заключение». Итоговые выводы работы находят обоснование в соответствующих разделах диссертации. Поставленные в гл. 1 задачи в ходе проведения исследования в основном выполнены. Достоверность основных общих выводов, представленных в диссертации и автореферате 10-ю пунктами, обеспечена корректной оценкой и учетом точности и воспроизводимости результатов экспериментальных исследований, использованных в работе. Адекватность регрессионных моделей обусловлена корректной проверкой коэффициентов регрессии на значимость, и модели в целом — на адекватность. Также обоснованными являются выбранные автором типы планов экспериментов. Все это позволяет считать степень достоверности и обоснованности выводов диссертанта достаточной и соответствующей требованиям «Положения» ВАК РФ.

**4) Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

Основной научный результат:

Получение серии стохастических регрессионных моделей для моделирования эксплуатационных параметров ТСП в разнообразных условиях трения.

Основной практический результат:

Разработка ряда экспериментальных методик и установок для исследования эксплуатационных параметров трибосистем с ТСП в нетривиальных условиях работы.

**5) Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Считаю целесообразным по итогам рецензируемой работы рекомендовать следующее

1) Использовать созданные автором стохастические модели для обоснования и создания математических моделей, учитывающих физику и физикохимию трибологических процессов, для выявления границ применения приведенных в работе моделей.

2) Использовать комплекс экспериментальных методик, примененных автором для других исследовательских циклов — создания новых ТСМ с наполнителями.

3) Расширить область практического использования разработки за пределы избранной автором авиакосмической сферы — в другие отрасли машиностроения и эксплуатации техники.

**6) Оценка содержания диссертации, ее завершенности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах». В работе содержатся следующие компоненты паспорта специальности:

1. Теория и методы исследования процессов, влияющих на техническое состояние объектов машиностроения, способы управления этими процессами (п. 1 Паспорта).

2. Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин. (п. 2 Паспорта).

3. Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения (п. 4 Паспорта).

4. Развитие фундаментальных положений родственных и смежных областей науки применительно к исследованию, проектированию и рас-

четам объектов машиностроения. (п. 6 Паспорта). (Родственными и смежными научными направлениями в данном случае, на наш взгляд, нужно считать триботехнику и химмотологию).

Работа в целом написана внятным научным языком, снабжена необходимым и достаточным иллюстративным материалом. Графики и рисунки выполнены наглядно, особенно обстоятельно представлены разнообразные схемы триботехнических испытаний. В диссертации экспериментальные разделы явно превалируют над теоретическими. Работа в целом выглядит завершенной.

Апробация работы достаточна. Имеется необходимое число публикаций в ведущих научных журналах по списку ВАК РФ. Полнота опубликования основных результатов работы в печати достаточным образом раскрывает основное содержание работы и выносимые на защиту положения. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

## **7) Замечания**

1. Формулировка «цели работы» вызывает следующие сомнения. Целью является разработка «комплексных методов диагностики пар трения с покрытиями...». Далее отмечается, что при этом учитывается состав покрытия и режимы работы. Но ничего другого, по сути, учитывать и не требуется. (Правда, за исключением внешней среды). Получается, что вторая часть формулировки цели незначима, тривиальна. Однако, учет среды все-таки в работе появляется (влияние солевого тумана, самосмазывающихся систем). Тогда не ясно, почему этот аспект выпал из «цели» работы?
2. Исследование самосмазывающихся материалов не входит в цель работы, но появляется в «задачах» (п.6) Здесь же говорится об оптимизации выбора смазочных материалов, что тоже не соотносится с целью и названием работы.
3. Все математические модели, применяемые в диссертации, относятся к классу стохастических регрессионных зависимостей. К сожалению, не обнаружено в работе моделей, отражающих физику трибологических процессов. Нет и физических моделей, основанных на принципах подобия.
4. В разделе «Материалы (с. 103), не представлен убедительно принцип выбора материалов для исследования, их классификация. Указана марка лишь одного ТСП. Для многих материалов ТСП, упомянутых в работе, применяются лишь их заводские марки, не понятна их природа и не обосновывается цель конкретного выбора данного материала для данного эксперимента.

5. Не понятно, что автор в контексте его работы понимает под «комплексностью оценки». Каков признак «комплексности»? Многофакторный план эксперимента – это всегда «комплексное решение»? Или комплексность – это одновременное применения к объекту описаний разного класса или многообразных экспериментальных методик? Или это оптимизация с ограничениями по ряду выходных факторов?
6. О подключении к факторному плану однофакторных зависимостей. Не понятно, каков в этом смысл? На чем мы экономим ресурс испытаний? Не сделаем 2-3 уровня по оси данного фактора? В этом ли принципиальный выигрыш? А в *оптимационных* экспериментах во встраивании однофакторных кривых в многофакторную матрицу вообще нет смысла, поскольку идет движение по пространству факторов, и тут «внешняя» кривая вряд ли пригодится.
7. Ламповые тензоусилители ТА-5, самописцы КСП — эти реликты лабораторной техники исчезли из лабораторий больше четверти века назад.
8. Результаты электронной микроскопии и микроанализа (С. 109–117) не отражены в итоговых «Выводах» по работе.
9. В факторных экспериментах шаговая процедура движения к оптимуму, по-видимому, не применялась. Используются интерполяционные модели, которые могут давать только локальные значения оптимума, есть ли уверенность, что область эксперимента в пространстве факторов выбрана удачно? Автор этого не обсуждает. Всегда выходной параметр называется в работе «параметром оптимизации», а оптимизационной процедуры (например, по методу крутого спуска) в описанных процедурах планирования эксперимента не видно.
10. Автор предлагает «рекомендации по повышению надежности ТСП» (С. 241), в то же время стандартные параметры надежности (например, наработка, ресурс) в этом разделе не применяются.
11. Терминологическая погрешность (С. 7): «Консистентная» смазка вместо «пластичной» по ГОСТу.
12. Рисунки 1.9. 1.10 1.12 и табл. 1.3, 1.4.и др. в обзорной главе не имеют ссылок на источники заимствования
13. Большинство литературных источников стари (169 из 175 ссылок на работы XX века). Современные англоязычные источники отсутствуют. Нет ссылок в списке литературы на изобретения и запатентованные компьютерные программы, хотя в работе (с. 90) указано, что автором проводился патентный поиск. В описании экспериментальных методик нет указаний на применение компьютеров для автоматизации эксперимента и обработки экспериментальных данных.

## **8) Заключительная оценка диссертационной работы**

Несмотря на отмеченные выше недостатки, полагаем, что в целом диссертация представляет собой законченную самостоятельную научно-квалификационную работу, посвященную решению важной научно-практической проблемы: повышения надежности узлов трения машин путем разработки методов и приборов диагностики узлов трения с твердосмазочными покрытиями — что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а автор диссертации — Хопин Петр Николаевич — заслуживает присуждения ему искомой ученой степени по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах»

Официальный оппонент,  
профессор кафедры экспериментальной и технической физики  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»  
доктор технических наук,  
профессор —

В.А. Годлевский

12.11.2018  
г. Иваново

ПЕРВЫЙ ПРОРЕКТОР  
ДЕКАН ТЕХНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА  
С.А. СЫРБУ

### Контактные данные официального оппонента

ФИО: Годлевский Владимир Александрович

Ученая степень: доктор технических наук.

Специальность, по которой защищена докторская диссертация:  
05.02.07 — Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Ученое звание: профессор.

Полное название организации: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»

Почтовый адрес: 153025, ул. Ермака, 39, ИвГУ.

Контактные телефоны: моб. +7(906)510-36-48;

дом. +7(493)237-67-52

e-mail: godl@yandex.ru