

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора

**Памфилова Евгения Анатольевича**

на диссертационную работу **Новикова Евгения Сергеевича** на тему:

«Установление закономерностей изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем и разработка методов повышения их износостойкости», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 - «Трение и износ в машинах»

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 188 наименований. Общий объем работы составляет 149 страниц и включает 39 рисунков и 10 таблиц, а также приложения, включающего акты практического использования результатов диссертационной работы.

### Актуальность диссертационной работы

Долговечность, надежность и эффективность современных машин и механизмов, включая и почти все виды транспорта, во многом определяется выходом из строя их узлов трения. В этой связи диссертантом выбраны такие тяжело нагруженные объекты исследования, как металлополимерный фрикционный узел «колесо – тормозная колодка» подвижного состава и шлицевое соединение хвостового вала вертолета МИ-26, что является вполне обоснованным. Соответственно, актуальным направлением исследований является разработка основ повышения износостойкости указанных выше ответственных узлов трения. Для решения этой задачи необходимо выявление закономерностей взаимодействия поверхностных слоев контактирующих деталей, сопровождающегося изменением свойств и структуры трущихся материалов. При этом нельзя не согласиться с утверждением диссертанта о том, что для этого необходимо получение новых знаний о трении и изнашивании на микро-, мезо- и макроуровнях, и выявления на этой основе неиспользуемых ранее новых методов и резервов улучшения функциональных свойств трибосистем, что и предопределяет актуальность решения поставленных автором задач.

Поэтому вполне обоснованным является выбор диссертантом направления, касающегося формирования четкого представления о процессах, протекающих на трибоконтакте, с учетом эволюции свойств материала в поверхностном слое как составляющего его полимера, так и металла под влиянием совокупности деструкционных, диффузионных и сегрегационных процессов с целью обоснования принципов создания новых композиционных полимерных материалов и разработки современных методов нанесения тонких поверхностных слоев на металлической поверхности, что является востребованным и актуальным для проведения направленного научным поиском.

Актуальность, проведенных автором исследований, подтверждается и тем, что они были поддержаны грантами Российского научного фонда, Российского фонда фундаментальных исследований, Министерства науки и высшего образования РФ, о чем подробно сообщается в тексте диссертации и отмечено в автореферате.

## **Степень обоснованности целей, задач и достоверности выводов и рекомендаций диссертации**

Приведенные в диссертации выводы и рекомендации, являются итогом проведенных исследований и основаны на корректном и обоснованном использовании современной теории квантово-химического расчета сегрегационных явлений. Такой подход позволил разработать методику оценки значений энергии химической связи элементов шести периодов таблицы Д.И. Менделеева, выбрав из них упрочняющие, и затем путем модификации их в полимерный композит обеспечить их транспортировку в поверхностные слои металлического контробразца.

Достаточно обоснованно автором выбрана методика и проведены комплексные исследования тонкой структуры поверхностных слоев металлического трибосопряжения, а их спрогнозированные физико-механические и трибологические свойства позволили оптимизировать процесс создания и применения алмазоподобных (DLC) покрытий для повышения износостойкости деталей тяжелонагруженных трибосистем.

Обоснованность основных научных положений и сделанных выводов подтверждается удовлетворительной степенью согласованности полученных теоретически расчетных зависимостей с результатами экспериментальных исследований.

Дополнительным подтверждением обоснованности рекомендаций и выводов, сделанных по итогам исследований, являются результаты стендовых испытаний, опытных образцов созданных с использованием разработок автора и рекомендованных к внедрению на железной дороге в тормозной системе «колесо – тормозная колодка» вагонного подвижного состава и в трансмиссионном шлицевом соединении вертолета МИ-26.

Кроме того, основные положения диссертационной работы прошли достаточную апробацию на международных научно-практических конференциях и в публикациях. Имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

### **Научная новизна результатов работы**

Научная новизна заключается в том, что автор предложил методологию и выполнил исследования процессов, протекающих в поверхностных слоях металлополимерного трибоконтakta, с учетом эволюции свойств материалов в поверхностном слое как полимера, так и металла под влиянием деструкционных, диффузионных и сегрегационных процессов с использованием квантово-химических и современных экспериментальных методов исследований. К наиболее значимым полученным научным результатам относятся следующие:

1. Разработана методика изучения сегрегационных процессов, происходящих в зоне металлополимерного трибосопряжения, с использованием квантово-химических расчетов; выполнена оценка значений энергий межатомных взаимодействий на границах зерен металла. Это позволило автору диссертации установить, что величина энергии химической связи легирующих и примесных элементов с железом является величиной, определяющей упрочняющие или разупрочняющие свойства этих элементов.

2. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований автор разработал критерии модификации полимерных композитных материалов упрочняющими элементами и доставки их в металлическое контртело.

3. Для металлических трибосистем автором разработана технология и режимы модифицирования металлической поверхности с помощью физических методов обработки поверхности и использования алмазоподобных (DLC) покрытий.

4. Исследования физико-механических свойств DLC-покрытий показали неоднородность распределения их по глубине. Установлено, что по мере приближения к подложке, на которую наносится DLC – происходит аморфизация структуры покрытия и доля графитоподобной составляющей возрастает, что подтверждается наличием электронных конфигураций углерода  $sp^2$ . В то же время у поверхности покрытия увеличивается доля орбиталей  $sp^3$ , что свидетельствует о ее алмазоподобном строении. Такие результаты необходимо учитывать при создании технологий нанесения покрытий.

### **Значение полученных результатов, выводов и рекомендаций для науки и производства**

Выполненные в диссертации теоретические и экспериментальные исследования позволили не только уточнить, расширить, углубить и получить новые знания о функционировании металлополимерных трибосистем, но и установить перспективные возможности для разработки методов управления фрикционными свойствами металлополимерных трибосистем, а именно:

- разработать способ аттестации элементов трибосистемы, способствующих упрочнению контактирующих сопряжений, а также технологию трибоупрочнения;
- сформулировать критерии выбора наполнителей в композиционные полимерные материалы для металлополимерных трибосопряжений;
- выбрать класс легирующих элементов и режимы алмазоподобных (DLC) покрытий, способствующих повышению износостойкости на основе установления закономерностей образования высокопрочных и антифрикционных поверхностных слоев тяжело нагруженных узлов трения;
- на основе выявленных закономерностей приведены сравнительные стендовые испытания, максимально приближенных к условиям эксплуатации тормозной системы «колесо – тормозная колодка», а также заводских муфт и муфт с покрытиями CrAlSiN + алмазоподобные (DLC).

### **Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по данной работе**

На основе выполненных исследований автором убедительно показана перспектива дальнейших исследований (стр. 122, 123 в диссертации и стр. 20 в автореферате):

1. Полученные в работе результаты квантово-химических расчетов энергии связи атомов элементов периодической системы Д.И. Менделеева с железом могут быть использованы в металлургии при добавлении легирующих и примесных добавок в поликристаллические материалы;

2. Разработанная технология повышения износостойкости металлополимерных трибосистем путем транспортировки с помощью трения

упрочняющих элементов в металлическую поверхность открывает перспективу применения этого метода в широкий класс узлов трения машин и механизмов.

### **Структура диссертации, ее единство и полнота публикаций**

Диссертация Е.С. Новикова охватывает основные вопросы, поставленные в цели и задачах решаемой проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что наглядно подтверждается следующим:

1. Первая глава посвящена хронологическому эволюционному развитию науки о трении, начиная от механических макропредставлений к атомно-молекулярным исследованиям. При этом, что приятно, диссертант отмечает не только современных отечественных и зарубежных ученых, но и классиков науки о трении – Крагельского И.В., Дерягина Б.В., Чичинадзе А.В., Гаркунова Д.Н., Костецкого Б.И., Азаренкова Н.А. и других. План исследований пронизан исследовательским единством, включающим разработку расчетно-теоретической базы, проведение экспериментальных, стендовых исследований, обобщение полученных результатов, так:

2. Во второй главе для металлополимерных трибосистем установив кинетику и механизм диффузионно-сегрегационного влияния на физико-механические и трибологические характеристики узлов трения, автор определяет элементный состав упрочняющих элементов и способы их доставки в поверхностные слои металлического контртела;

3. Третья глава посвящена исследованию алмазоподобных покрытий методом РФЭС и установлено влияние состава наносимого материала, технологии нанесения, тип подложки, на которую происходит нанесение, на физико-механические и трибологические характеристики металлических трибосистем;

4. В четвертой главе на основе выявленных закономерностей проведены сравнительные стендовые испытания серийных трансмиссионных муфт шлицевого соединения вертолета МИ-26 и муфт с покрытием CrAlSiN + алмазоподобные (DLC). Следует отметить конструкцию и изготовление автором оригинального и достаточно сложного стенда.

Диссертация представляет законченный, логически связанный научный труд. Автореферат в полной степени отражает основное содержание текста диссертации.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах». Из пунктов паспорта специальности, на мой взгляд, содержание диссертационной работы отвечает следующим: 1 – «Механические, тепловые, химические, магнитные, электрические явления при трении» (материал второй, третьей и четвертой глав); 2 – «Механика контактного взаимодействия при трении скольжения, трении качения и качения с проскальзыванием с учетом качества поверхностного слоя» (вторая и третья главы); 3 – «Закономерности различных видов изнашивания и поверхностного разрушения» (третья глава); 7 – «Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев» (вторая, третья и четвертая главы).

### Замечания по диссертации

1. В работе не отмечено убедительно в каких диапазонах нагрузок и скоростей скольжения металлополимерных трибосистем наиболее эффективно реализуется эффект упрочнения металлического контробразца и не вполне ясно каков механизм транспортировки упрочняющих элементов в функциональные поверхностные слои.

2. Материалы исследований автора показывают, что на характеристики прочности металлополимерных пар трения, детали которых выполнены из материалов, сформированных на основе железа, оказывают влияние не только процессы сегрегации и энергия связи железа с легирующими добавками, но и другие процессы, например, дислокационные, но в то же время не принимает во внимание их роль и степень влияния на механизм и величину разрушения фрикционных поверхностей.

3. Отдавая должное внимание полученным автором новым научным результатам по алмазному нанесению покрытий, необходимо отметить, что приведенные результаты были бы более содержательными, если их сравнить с подложками, на которые наносится покрытие с другим классом металлов, а не только из сталей 38Х2МЮА и 12ХН4А.

4. Вызывает сомнение необходимость столь подробного описания автором технологического процесса упрочняющей обработки инструментального материала, приведенное в диссертационной работе на страницах 109 – 112.

Несмотря на приведенные замечания, диссертационное исследование является завершенной научной работой и по ней вполне можно принять следующее заключение.

### Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Представленная Новиковым Е.С. диссертация «Установление закономерностей изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем и разработка методов повышения их износостойкости» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена задача установления теоретических закономерностей и инновационных экспериментальных методов повышения износостойкости как металлополимерных, так и металлических трибосистем. Работа выполнена на достаточно высоком уровне и самостоятельно, о чем говорит большое количество публикаций (31 печатная работа, из них 10 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 9 – входящих в международные базы цитирования) и значительное количество выступлений на международных конференциях.

В работе содержатся новые научные результаты и технологические решения в области исследования металлополимерных и металлических трибосистем на микро-, мезо- и макроуровнях с целью создания новых металлополимерных трибосистем и управления их трибологическими характеристиками, использование которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в транспортном комплексе Российской Федерации.

Задачи, цели и анализ содержания диссертации и публикаций по ее теме позволяют сделать вывод, что диссертация Новикова Евгения Сергеевича по актуальности избранной темы, характеру рассматриваемых вопросов, достигнутых

результатов решения задач, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям ВАК, регламентируемым пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах, а ее автор – Новиков Евгений Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

### Официальный оппонент:

Памфилов Евгений Анатольевич, гражданин РФ, доктор технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах, профессор, заведующий кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», заслуженный деятель науки РФ

Памфилов Евгений Анатольевич

28 января 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет».

Служебный адрес: 241035, г. Брянск, ул. 50-летия Октября, д. 7.

Тел. моб. +7-905-100-17-51, E-mail: [epamfilov@yandex.ru](mailto:epamfilov@yandex.ru)

