

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 218.010.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР),

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.03.2021 № 1

О присуждении Новикову Евгению Сергеевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Установление закономерностей изменения структурно-фрикционных свойств тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем и разработка методов повышения их износостойкости» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 28.12.2020 г., протокол № 7, диссертационным советом Д 218.010.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2. Приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012), далее – ФГБОУ ВО РГУПС.

Соискатель Новиков Евгений Сергеевич, 1989 г. р., в 2011 г. окончил ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», присуждена квалификация химик по специальности «Химия». С 2011 по 2015 год обучался в аспирантуре (очная форма) ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» по специальности 02.00.04 «Физическая химия». Работает в ФГБОУ ВО РГУПС с 2011 г., с 18.12.2018 г. по настоящее время – в должности младшего научного сотрудника НИЛ «Нанотехнологии и новые материалы» НИЦ НТ НИЧ.

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая механика» в ФГБОУ ВО РГУПС.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор РАН Колесников Игорь Владимирович, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Нанотехнологии и новые материалы» научно-испытательного центра «Нанотехнологии и трибосистемы» НИЧ ФГБОУ ВО РГУПС.

Официальные оппоненты: Бурлакова Виктория Эдуардовна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»; Памфилов Евгений Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ЮРГПУ (НПИ), к.т.н., доцентом

Сиротиним П.В. и профессором кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» ЮРГПУ (НПИ), д.т.н. Шульгой Г.И., и утвержденном проректором по научной работе и инновационной деятельности ЮРГПУ (НПИ) д.т.н., доцентом Кравченко О.А. указала, что диссертация Новикова Е.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные подходы к металлополимерным и металлическим трибосистемам, повышающие износостойкость, надежность и долговечность тяжело нагруженных трибосопряжений современных транспортных машин и механизмов, имеющие существенное значение для развития экономики страны. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Новиков Евгений Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 31 опубликованную работу, все по теме диссертации, из них 10 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и входящих в международные базы цитирования Scopus, Web of Science, Springer, Chemical Abstracts; 1 патент. Объем опубликованных работ по теме диссертации 20,54 п.л. Авторский вклад 5,8 п.л. Все публикации достаточно полно отражают основные результаты исследований как триботехнических параметров разработанных композиционных материалов и покрытий, так и их физико-механические и технологические свойства. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1 Моделирование процессов трения и изнашивания на атомном уровне / В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, Е.С. Новиков, И.В. Колесников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 3(47). – С. 162–168.

2 Совместимость химических элементов на границах зерен в стали / В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, И.В. Колесников, Е.С. Новиков // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 464, № 1. – С. 51.

3 Совместимость химических элементов на границах зерен в стали и ее влияние на износостойкость стали / В.И. Колесников, Ю.Ф. Мигаль, И.В. Колесников, Е.С. Новиков // Трение и износ. – 2015. – Т. 36, № 1. – С. 5–13.

4 Колесников, И.В. К вопросу о механизме влияния сегрегационных процессов на механические и трибологические характеристики материалов / И.В. Колесников, Е.С. Новиков, С.А. Данильченко // СТИН. – 2018. – № 3. – С. 38–40.

5 Kolesnikov, I.V. Influence of segregation processes on the mechanical and tribological characteristics of materials / I.V. Kolesnikov, E.S. Novikov, S.A. Danil'chenko // Russian Engineering Research. – 2018. – Т. 38, № 9. – С. 740–741.

6 Колесников, И.В. К вопросу о микроскопических исследованиях диффузионных и сегрегационных процессов в тяжело нагруженных трибосистемах / И.В. Колесников, Е.С. Новиков, В.И. Колесников // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92. № 2. – С. 236–244.

7 Use of vacuum ion-plasma coatings in the heavy-loaded tribo connections / V. I. Kolesnikov, E.S. Novikov, O.V. Kudryakov [et al.] // *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2019)* / Eds: I. Parinov, B.T. Long, NTH Minh, N.D. Toan, S.H. Chang. – 2019. – С. 169–170.

8 Колесников, В.И. Инновационный подход к изучению процессов трения, износа и мониторинга тяжело нагруженных трибосистем / В.И. Колесников, А.Л. Озябкин, Е.С. Новиков // *Трение и износ*. – Т. 40, № 4. – 2019. – С. 380–388.

9 Структурные аспекты износостойкости вакуумных ионно-плазменных покрытий / В.И. Колесников, О.В. Кудряков, Е.С. Новиков [и др.] // *Физическая мезомеханика* – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 62–77.

10 Технология повышения износостойкости тяжело нагруженных трибосистем и их мониторинг / В.И. Колесников, В.Д. Верескун, Е.С. Новиков [и др.] // *Трение и износ*. – 2020. – № 2. – С. 228–233.

11 Interaction of atoms with grain surfaces in steel: periodic dependence of binding energy on atomic number and influence on wear resistance / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, V.N. Doronkin, E.S. Novikov // *Advances in Materials Physics and Chemistry*. – 2012. – Т. 2, № 4. – С. 201–207.

12 Migal, Yu.F. Compatibility of chemical elements on grain boundaries and its influence on wear resistance of polycrystalline materials / Yu.F. Migal, V.I. Kolesnikov, E.S. Novikov // *Advanced Nano- and Piezoelectric Materials and their Applications*. – 2014. – С. 1–17.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- **ведущей организации** – ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». Отзыв положительный. Замечания: **1.** Автор считает, что одной из центральных задач в трибологии является изучение процессов диффузии и сегрегации в металлополимерных трибосистемах. Им представлена разработанная методика аттестации элементов, способствующих упрочнению контактирующих сопряжений. Предложена технология транспортировки этих элементов в поверхностный слой металлического контртела в узлах трения фрикционного назначения (тормозная колодка). Однако в диссертационной работе не представлены исследования по реализации транспортировки элементов в поверхностный металлический слой в антифрикционных металлополимерных трибосистемах. **2.** В диссертации приведены технологии нанесения трех видов покрытий на подложку: одинарное DLC-покрытие, DLC-покрытие с предварительной ионной имплантацией элементов, комбинированное покрытие, технология которого включает ионную имплантацию, нанесение нитридного покрытия системы CrAlSiN в качестве внутреннего износостойкого слоя. Однако автором не приведены результаты исследований адгезионного взаимодействия данных покрытий с подложкой и между слоями. **3.** При изучении сегрегации элементов вблизи свободной металлической поверхности трибосопряжения не приведены исследования на предмет распределения элементов у свободной поверхности: происходит скопление конкретных элементов, образование вторичных фаз или обеднение поверхности. Это важно для формирования защитных смазочных пленок путем взаимодействия их молекул с

атомами элементов, находящихся на свободной поверхности. **4.** В четвертой главе диссертации отмечено, что стендовые испытания тяжело нагруженных модифицированных покрытий, нанесенных на трансмиссионные шлицевые соединения и предназначенных для хвостового вала вертолета МИ-26, показали положительные результаты. Но не отражено, в каком температурном диапазоне внешней среды будут работать предлагаемые покрытия. **5.** При проведении стендовых испытаний тяжело нагруженных модифицированных покрытий подробно дается описание стенда, режимы триботехнических испытаний. Вместе с тем неясно, какими параметрами отличаются режимы испытаний на стенде (частота и амплитуда перемещений, нормальная нагрузка) от реальных условий на вертолете МИ-26.;

- **официального оппонента** – д.т.н., профессора, зав. кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» Бурлаковой Виктории Эдуардовны. Отзыв положительный. Замечания: **1.** Среди разработанных и предложенных автором технологий повышения износостойкости как металлополимерных, так и металлических трибосистем нет оценки их влияния на экологическую безопасность. **2.** Желательно бы иметь в работе информацию по пределам контактных давлений, а также интервале рабочих температур, в пределах которых работают установленные закономерности по повышению износостойкости трибосистем. **3.** Целесообразно было бы в работе отразить возможность более широкого применения разработанных технологий по повышению износостойких материалов. **4.** Для большей наглядности полученные экспериментальные данные (физико-механические характеристики, трибологические характеристики) можно было бы представить в виде столбчатых диаграмм. **5.** В работе использованы современные экспериментальные методы исследования, однако не отражены точности их измерений.

- **официального оппонента** – д.т.н., профессора, зав. кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» Памфилова Евгения Анатольевича. Отзыв положительный. Замечания: **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.

На автореферат поступило 13 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв д.т.н., первого заместителя управляющего директора по реализации стратегии развития, реформированию и инвестициям ПАО «Роствертол» **Шамшуры Сергея Александровича**. Замечания: **1.** Если использовать не полимерный, а другие материалы в качестве матрицы для наполнения упрочняющими элементами, например, смазочный материал, можно ли получить эффект от применения предлагаемой автором технологии? **2.** В автореферате не указаны границы допустимой температуры для разработанных покрытий.

2. Отзыв д.т.н., профессора кафедры «Основы конструирования механизмов и машин» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» **Шустера Лёвы Шмульевича**. Замечаний нет.

3. Отзыв д.т.н., профессора, заведующего лабораторией проблем безопасности транспортных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российская академия наук (ИПТ РАН) **Таранцева Александра Алексеевича**. Замечание: **1.** Учитывая, что механические агрегаты многих видов транспорта (в частности, железнодорожного) работают в условиях длительного воздействия больших виброударных нагрузок в сочетании с широким диапазоном температур (от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$), желательнее большее внимание уделить вопросам их устойчивости и сохранения функциональных характеристик.

4. Отзыв д.т.н., профессора МФТИ, начальника НТЦ НПК ФГУП «ЦАГИ» **Вермеля Владимира Дмитриевича**. Замечаний нет.

5. Отзыв к.т.н., доцента кафедры «Высокоэффективные технологии обработки» ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН» **Федорова Сергея Вольдемаровича**. Замечание: **1.** В автореферате отсутствуют данные о том, с какой точностью определялись параметры: содержание элементов в приповерхностном слое образцов, глубина профилирования при травлении DLC-покрытия, шероховатость поверхности образцов, их физико-механические характеристики и трибологические свойства и др. **2.** Предполагается, что алмазные пленки по структуре изначально аморфны. Что имеется ввиду, когда автор говорит об аморфизации аморфного состояния пленки при приближении к подложке?

6. Отзыв д.т.н., проф., заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН **Панина Сергея Викторовича** и к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории механики полимерных композиционных материалов ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН и **Корниенко Людмилы Александровны**. Замечаний нет.

7. Отзыв д.т.н., профессора, генерального директора АО «ВНИКТИ» **Коссова Валерия Семеновича**. Замечание: **1.** Из автореферата не ясно, каким методом или при помощи какого оборудования была исследована глубина проникновения атомов молибдена и других упрочняющих элементов в металлическое контртело металлополимерной трибосистемы. **2.** Автор не предоставляет данные о точности спектральных исследований.

8. Отзыв д.т.н., профессора, директора ООО НПО ТРИБОФАТИКА **Сосновского Леонида Адамовича**. Замечаний нет.

9. Отзыв д.т.н., доцента, профессора кафедры «Инновационные технологии машиностроения», зам. заведующего базой кафедры «Специальное машиностроение» Пермского национального исследовательского политехнического университета **Каменевой Анны Львовны**. Замечание: **1.** Углеродные DLC-покрытия наносили в вакуумной камере установки PLATIT π^{80} при температуре 180-250°C, которая, скорее всего, не приводит к отпуску материала подложки. Из автореферата невозможно оценить термическое влияние ионной имплантации тугоплавких металлов Ti, Nb, Hf на материал подложки. **2.** В материале автореферата не обнаружены количественные измерения адгезионной прочности DLC-покрытия к подложке и доказательства роли ионной имплантации в ее повышении. **3.** В автореферате не приведено сравнение адгезии DLC-покрытия к подложке до и после ее легирования Nb и/или Hf, а также между слоями DLC-покрытия и промежуточными его слоями CrAlSiN, теплофизические свойства которых значительно отличаются.

10. Отзыв д.т.н., профессора, заведующего кафедрой основ конструирования машин ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» **Балякина Валерия Борисовича**. Замечание: **1.** В работе желательно было бы дать оценку влияния внешних температурных факторов на интенсивность изнашивания упрочненных, контактирующих сопряжений, учитывая широкий диапазон климатических условий эксплуатации транспортных средств. **2.** В работе следовало бы рассмотреть возможность более широкого использования полученных теоретических и экспериментальных результатов в сфере повышения износостойкости металлополимерных и металлических трибосистем, машин и механизмов, помимо транспортных средств.

11. Отзыв академика НАН Беларуси, д.т.н., профессора, заведующего отделом «Трение, смазка и эксплуатационная стойкость материалов» ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» **Мышкина Николая Константиновича**, и к.т.н., доцента, заведующего отделом «Фрикционное материаловедение» ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» **Сергиенко Владимира Петровича**. Замечание: **1.** К числу замечаний по автореферату стоит отнести утверждение автора о формулировке «принципиально нового в трибологии вывода о том, что трение может являться не только, как принято считать, разрушительным процессом, но возможно реализовать его как процесс созидательный» (стр. 5 автореферата). Не вдаваясь в философскую составляющую утверждения, с технической точки зрения новизну этого вывода

можно оспорить. 2. На стр.18 автореферата говорится, что благодаря ряду специфических свойств DLC-покрытия «... способны к релаксации напряжений за счет сил поверхностного натяжения». Однако в тексте автореферата никаких доказательств этого утверждения нет. На наш взгляд, это несколько снижает достоверность сделанных выводов.

12. Отзыв главного инженера Северо-Кавказской железной дороги - филиала ОАО «РЖД» **Черномазова Александра Владимировича**. Замечание: **1.** Из автореферата не ясно, имеются ли критерии промышленного применения технологии диффузионного-сегрегационного насыщения упрочняющими элементами поверхностных слоев металлического тела (при каких температурно-нагрузочно-скоростных режимах будут наблюдаться данный эффект упрочнения)? **2.** В автореферате отсутствует обоснование выбора подложек для нанесения алмазоподобного покрытия.

13. Отзыв начальника технологического отделения акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения» (АО «НПК «КБМ») **Костарева Владимира Анатольевича**, начальника 117 отдела акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения» (АО «НПК «КБМ») **Пивачева Владимира Владимировича**, и ведущего инженера-технолога 117 отдела акционерного общества «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения» (АО «НПК «КБМ») **Ковылкина Александра Александровича**. Замечание: **1.** Нет разработки метода достоверной информации о техническом состоянии тяжело нагруженных узлов трения за весь период их работы, прогнозирующей остаточный ресурс, порог предупреждения и порог безопасности. **2.** Отсутствуют сведения об износостойкости трибосистем, работающих при повышенных и при пониженных температурах.

Выбор ведущей организации определяется специализацией и достаточно высоким уровнем ее лабораторий в рассматриваемой области исследований, значительным количеством эффективных разработок и широким кругом публикаций ее сотрудников в ведущих специализированных изданиях. Выбор официальных оппонентов обосновывается достижением ими ряда значимых результатов в рассматриваемой области исследования, публикационной активностью, наличием опыта работы в области трения и изнашивания трибосистем, создания новых композиционных материалов и покрытий и подготовки научных кадров, наличием соответствующих научных степеней.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана:** оригинальная технология упрочнения контактирующих металлических и металлополимерных сопряжений и способ доставки легирующих элементов из полимера в металлическое контртело путем трения, а также технология нанесения алмазоподобных (DLC) покрытий на поверхности трибоконтакта трансмиссионного шлицевого соединения вертолета МИ-26, позволившая значительно увеличить износостойкость данной трибосистемы;

- **предложены:** методика аттестации элементов, способствующих упрочнению металлического контртела и критерии выбора наполнителей композиционных полимерных материалов для металлополимерных трибосопряжений, а также технология, материалы и режимы нанесения алмазоподобных покрытий;

- **доказано:** что для повышения износостойкости тяжело нагруженных узлов трения необходимо применение следующих критериев:

а) для металлополимерных трибосистем – установление кинетики, механизма диффузионно-сегрегационных процессов и их влияния на физико-механические и трибологические характеристики узла трения путем определения упрочняющих элементов, способов и режимов введения их в поверхностные слои металлического контробразца;

б) для металлических трибосистем – выбор материалов, технологии и режимов модифицирования металлической поверхности с помощью физических методов обработки поверхности и использования алмазоподобных покрытий;

- **введены:** а) метод упрочняющего эффекта металлического контртела выделяющимися при трении элементами, введенными в состав фрикционного полимерного композита;

б) области исследования металлополимерных трибосистем на микро- и макроуровнях с применением квантово-химических методов расчета, закономерностей образования высокопрочных, износостойких поверхностных слоев тяжело нагруженных металлических трибосистем, позволившие выбрать режимы нанесения алмазоподобных покрытий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано:** а) влияние сегрегационных процессов на физико-механические и трибологические характеристики металлополимерных трибосистем. Результатом оценки энергии межатомного взаимодействия продуктов деструкции полимеров с металлическим контртелом является энергия химической связи, зависящая от величины заряда ядра атомов элементов продуктов деструкции;

б) влияние ионной имплантации подложки ниобием и/или гафнием, а также нанесения промежуточного слоя из CrAlSiN между подложкой и алмазоподобным покрытием на величину физико-механических и трибологических параметров покрытия;

- **применительно** к проблематике диссертации результативно использованы методы квантово-химических расчетов, комплекс оборудования, включающий сканирующий электронный микроскоп, рентгеновскую, оже-электронную спектроскопию, наноиндентирование и трибометр TRB;

- **изложен:** а) для металлополимерных трибосистем механизм диффузионно-сегрегационного влияния на физико-механические и трибологические характеристики узлов трения и определен на этой основе элементный состав упрочняющих элементов, а также способ и режимы введения их в поверхностные слои металлического контробразца;

б) для металлических трибосистем – способ создания материалов, технологии и режимов модифицирования металлической поверхности с помощью физических методов обработки поверхности и использования алмазоподобных покрытий;

- **раскрыты:** а) для металлополимерных узлов трения - особенности и перспективы использования процесса трения для повышения их физико-механических и трибологических характеристик за счет протекания диффузионно-сегрегационных процессов;

б) для металлических трибосопряжений – влияние ионной имплантации подложки ниобием и гафнием на физико-механические и трибологические характеристики;

- **изучено:** а) для металлополимерных трибосопряжений – значения величин энергии химической связи с железом элементов, способствующих упрочнению;

б) для металлических трибосистем – градиентное распределение электронных конфигураций углерода по сечению покрытия, влияние типа подложки, режимов ее термической обработки, легирования и нанесения промежуточных слоев системы CrAlSiN на адгезию и эксплуатационные свойства алмазоподобных покрытий;

- **проведена модернизация:** а) для металлополимерных трибосопряжений – технологического процесса получения фрикционных композиционных полимерных материалов путем добавления в их состав атомов упрочняющих элементов;

б) для металлических трибосистем – технологического процесса подготовки подложки – контактной рабочей поверхности для нанесения многокомпонентного алмазоподобного покрытия;

в) стенда для проведения ресурсных испытаний одной шлицевой муфты вала трансмиссии вертолета МИ-26 в условиях, имитирующих реальные условия эксплуатации узла.

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

- **разработаны и прошли удовлетворительные промышленные испытания:** фрикционный полимерный композиционный материал с добавками из упрочняющих элементов для использования в тяжело нагруженных узлах трения подвижного состава «колесо - тормозная колодка», что подтверждено техническим актом испытаний от 07.10.2020 г., утвержденным службой вагонного хозяйства Северо-Кавказской дирекции инфраструктуры – СП ЦДИ – филиала ОАО «РЖД», а также технология нанесения вакуумных ионно-плазменных алмазоподобных покрытий, обеспечивающих повышение износостойкости и долговечности шлицевого соединения хвостовой трансмиссии вертолета МИ-26М, что подтверждено актом стендовых испытаний от 05.10.2020 г.

- **определены:** а) границы практического использования результатов квантово-химических расчетов по определению энергии химической связи упрочняющих элементов с железом при создании металлополимерных узлов трения машин, механизмов и транспортных систем;

б) область применения технологии формирования алмазоподобных покрытий;

- **создана:** а) для металлополимерных сопряжений – технология введения в композиционный материал упрочняющих элементов и их транспортировки в металлическое контртело;

б) технология повышения износостойкости металлических трибосопряжений путем разработки материалов и режимов нанесения алмазоподобных покрытий;

- **представлены:** а) границы применения полученных результатов квантово-химических расчетов энергии связи железа и упрочняющих элементов из композиционных полимерных материалов и пути их доставки в металлическое контртело;

б) предложения по дальнейшему совершенствованию технологического процесса нанесения алмазоподобных покрытий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **для экспериментальных работ:** а) результаты исследований получены на современном сертифицированном экспериментальном оборудовании (рентгеноэлектронной и оже-электронной спектроскопии – системы анализа поверхности SPECS (Германия), платформы «Nanotest 600» и др.);

б) воспроизводимость результатов лабораторных и стендовых исследований в различных узлах трения с точностью использованного оборудования;

- **теория:** построена на использовании современных представлений об электронном строении материи, методах квантовой химии и согласуется с экспериментальными данными;

- **идея базируется:** на анализе и обобщении передового опыта выдающихся отечественных и зарубежных ученых в области оценки межатомных взаимодействий на зернограничных поверхностях, а также современных технологиях нанесения алмазоподобных покрытий;

- **использованы** лицензированный пакет программ для проведения квантово-химических расчетов ADF, современное исследовательское оборудование, разработанные и изготовленные автором лабораторные испытательные стенды.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке экспериментальных стендов и методик испытаний, проведении квантово-химических расчетов по межатомному взаимодействию химических элементов на границах зерен в стали; разработке способов и технологий диффузионного введения упрочняющих элементов в металлополимерную трибосистему, а также в разработке режимов нанесения вакуумных алмазоподобных покрытий; непосредственном участии в получении исходных данных и научных экспериментах по модификации упрочняющих элементов в полимерный композит и последующей транспортировки их в металлическое контртело за счет трения, а также в исследовании тонкой структуры, физико-механических и трибологических свойств алмазоподобных покрытий; обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке основных публикаций по данным проведенных теоретических и экспериментальных исследований и выступлении с полученными результатами на конференциях и семинарах.

Диссертация охватывает решения поставленных задач, приводящих к установлению теоретических закономерностей и экспериментальных методов повышения износостойкости как металлополимерных, так и металлических

трибосистем путем транспортировки за счет трения упрочняющих элементов в поверхностные слои металлического контртела и физических методов обработки поверхности с использованием алмазоподобных покрытий. Работа характеризуется наличием четкого и последовательного плана исследований и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается соответствием поставленных задач результатам исследований.

На заседании «15» марта 2021 года диссертационный совет Д 218.010.02 пришел к выводу о том, что диссертационная работа Новикова Е.С. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором системных теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые научно-обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение износостойкости тяжело нагруженных металлополимерных и металлических трибосистем.

Таким образом, диссертационный совет Д 218.010.02, учитывая, что диссертация соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 02.08.2016) «О порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, принял решение присудить Новикову Евгению Сергеевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, воздержалось – 0.

Председатель диссертационного совета
Д 218.010.02 академик РАН,
д-р техн. наук, профессор



Колесников Владимир Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 218.010.02
д-р техн. наук, профессор

Щербак Петр Николаевич

«15» марта 2021 г.