

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 218.010.02 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 12.05.2016 г., № 2

О присуждении Пичугину Сергею Дмитриевичу, Россия, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Взаимодействие пары медный сплав-сталь в смазочных материалах» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 20.02.2016 г., протокол № 1, диссертационным советом Д 218.010.02 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 г.)

Соискатель Пичугин Сергей Дмитриевич, 1989 года рождения, в 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина». В 2015 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина» (ФГБОУ ВО РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина).

Диссертация выполнена на кафедре «Трибологии и технологии ремонта нефтегазового оборудования» в ФГБОУ ВО РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Малышев Владимир Николаевич, профессор кафедры «Трибологии и технологии ремонта нефтегазового оборудования» ФГБОУ ВО РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина.

Официальные оппоненты: Поляков Сергей Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры РК-3 «Основы конструирования машин» Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана»; Соболев Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, руководитель индустриально-технического подразделения ООО «ТОТАЛ-ВОСТОК» (филиал компании Total S. A.) – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И.Баранова» (ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова»), в своем положительном заключении, подписанном председателем научно-технического совета, начальником отдела «Двигатели и химмотология» ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова», доктором технических наук, профессором Яновским Леонидом Самойловичем, ученым секретарем ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова», кандидатом физико-математических наук Исаковой Натальей Петровной и утвержденном научным руководителем – заместителем генерального директора ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова» доктором технических наук Ланшиным Александром Игоревичем, отметила, что диссертация Пичугина Сергея Дмитриевича является завершённой

научно-квалификационной работой, в которой решена задача по снижению трения и изнашивания пары медный сплав-сталь, выполнены экспериментальные исследования процессов трения и изнашивания пар медный сплав-сталь, проведены измерения характеристик микрогеометрии поверхностных слоев подвижных сопряжений, а также современные прецизионные физические исследования элементного состава, строения и толщин защитных пленок на поверхностях трения трибосопряжения, элементного состава и содержания продуктов изнашивания в смазочных материалах, что имеет значение для дальнейшего развития трибологии, как науки и инженерного искусства. На основании вышеизложенного Пичугин Сергей Дмитриевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8 работ. В работах отражены основные результаты исследования свойств и закономерностей формирования структуры металлсодержащей пленки, образующейся в приповерхностном микрообъеме при контактном взаимодействии пары медный сплав-сталь в смазочных материалах. Основные работы:

1. Пичугин В. Ф., Пичугин С. Д., Щербинин В. М. Исследование начального периода взаимодействия пары медный сплав-сталь в глицерине. //Ремонт, восстановление, модернизация, 2012, №10, С. 35-38.
2. Пичугин С. Д. Рентгеноспектральные исследования поверхностного слоя латуни, изношенной в паре со стальным образцом в глицерине. //Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №8, С. 3-5.
3. Пичугин С. Д. Исследование функциональных групп в составе медьсодержащей пленки. //Трение и смазка в машинах и механизмах, 2013, №10, С. 35-37.
4. Пичугин С. Д. Исследование медьсодержащей пленки на стальном образце методом ИК-спектроскопии. //Ремонт, восстановление, модернизация, 2014. №4.С. 28-30.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**Ведущей организации** – ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И.Баранова» (ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова»). Отзыв подписал председатель научно-технического совета, начальник отдела «Двигатели и химмотология» ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова» д.т.н., проф. Яновский Леонид Самойлович, утвердил заместитель генерального директора ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова» доктор технических наук Ланшин Александр Игоревич. Отзыв положительный. Замечания:

1. Сформулированные автором рекомендации по составу смазочных материалов, обеспечивающих образование на поверхностях трения медьсодержащей пленки, носят слишком общий характер, так как не конкретизируется, к каким именно рабочим узлам и при каких реальных условиях нагружения возможно применение данных рекомендаций.

2. В диссертационной работе не формулируется логическая связь между изучаемой парой трения и разработанной присадкой к маслам.

3. В работе отсутствует обоснование выбора глицерина в качестве смазочного материала для изучаемых пар трения.

4. На страницах диссертации 136-138 при описании исследования дисперсного состава частиц продуктов изнашивания пары «медный сплав-сталь», не указывается точность измерения частиц износа.

5. На страницах диссертации 158-160 при описании разработки состава антифрикционной присадки к смазочным материалам не указываются диапазоны концентраций компонентов разработанной присадки.

6. В диссертационной работе не было исследовано влияние температурного фактора на образование медьсодержащей пленки, и, соответственно, не оценена жизнеспособность пленки при определенных температурах на контакте.

**Отзыв официального оппонента** – д.т.н., профессора С.А. Полякова (ФБГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана»). Отзыв положительный. Замечания:

1. К недостаткам работы следует отнести определенное несоответствие между заявленной целью работы и результатами собственно исследования, отраженными в выводах автора. Это, в частности, относится к заявленному в цели работы «...установлению закономерностей формирования структуры и свойств металлсодержащей пленки...», поскольку в выводах автора данные закономерности, то есть устойчивые причинно-следственные связи исходных и конечных свойств и структур материалов, не фигурируют, а имеется лишь констатация некоторых экспериментальных фактов.

2. В работе не приведена информация о статистических оценках, представленных экспериментальных данных, в том числе, при их сопоставлении с теоретическими расчетами.

3. В работе присутствует некоторое количество опечаток. Например, на стр. 165 в п.18 вместо термина «атомарный перенос» используется «атмосферный перенос».

**Отзыв официального оппонента** – к.т.н. Д.А. Соболя (ООО «ТОТАЛ-ВОСТОК»). Отзыв положительный. Замечания:

1. В диссертационной работе не вполне четко обоснован выбор в качестве сравниваемых смазочных материалов глицерина и индустриального масла И-40 А.

2. В описании состава антифрикционной присадки к смазочным материалам не указано, почему в качестве одного из компонентов выбирается пропиленгликоль, а не какой-либо другой спирт.

3. В работе не конкретизируется, какую именно роль играет обесцинкование антифрикционного сплава.

4. Не указывается тип высокомолекулярных соединений, обнаруженных при помощи ИК-спектральных исследований.

5. Имеется небольшое количество шероховатостей в оформлении, опусок (стр.7, 70) и стилистических неточностей.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные.

1. **Отзыв** к.т.н., главного инженера БН «РусГазПроект» Сивоконя И.С. Замечаний нет.

2. **Отзыв** д.хим.н., профессора ФГБУН «Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН», чл.-кор. РАН Лалидуса А.Л. Замечания: 1. Из автореферата диссертационной работы не ясно, какие группы высокомолекулярных и координационных соединений, входящих в состав металлсодержащей пленки, были обнаружены при помощи ИК-спектральных исследований. 2. Следовало бы более подробно описать, к каким последствиям приводит адсорбционное понижение прочности поверхностного слоя латуни и диспергирующее действие поверхностно-активного смазочного материала.

**3. Отзыв** зав. каф. «Основы конструирования машин и механизмов» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» д.т.н., проф. Мигранова М.Ш. и д.т.н., проф. Шустера Л.Ш. Замечания. 1. На рисунках 1 и 3 автореферата обращает внимание «зеркальное» расположение приведенных кривых, что является естественным, так как представленные численные значения однозначно связаны между собой, то есть достаточно было привести одну кривую.

**4. Отзыв** зам. нач. лаборатории прочности и надежности материалов авиационных двигателей и силовых энергетических установок ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» ГНЦ РФ, д.т.н., доц. Асланян И.Р. Замечания: 1. В описании практических рекомендаций по составу смазочных материалов, способных реализовывать явление избирательного переноса и образование защитной металлсодержащей пленки, не указывается, могут ли другие соли меди, помимо пальмитата и стеарата меди, использоваться в качестве соединений металла-катализатора для пар без антифрикционного сплава. 2. В автореферате в третьей главе представлены результаты измерения триботехнических характеристик пары латунь-сталь в зависимости от пути трения. В главе 4 приведены результаты рентгеноспектральных исследований зоны трения стальных образцов в паре с медными сплавами, подтверждающие ранее полученные данные при триботехнических испытаниях. Однако в тексте автореферата данный вывод не представлен.

**5. Отзыв** к.т.н., доц. кафедры «Химия» Донского государственного технического университета Кужарова А.А. и д.т.н., проф., зав. кафедрой «Химия» Бурлаковой В.Э. Замечания: 1. На стр. 18 утверждается, что поверхностные слои защитной пленки «представлены окисленными соединениями меди и цинка». Из текста неясно, на основании каких результатов автор пришел к такому утверждению. 2. На стр. 19 показано, что происходит образование муравьиной и щавелевой кислот, однако результаты экспериментов, подтверждающих это, не приведены. 3. На стр. 19 высказано спорное, на наш взгляд, предположение, что в процессе трения, при взаимодействии органических кислот и соединений меди, происходит образование катализаторов. 4. При описании физико-химических процессов (с. 20) утверждается, что происходит «окисление глицерина соединениями меди до кислот», хотя в приведенной реакции медь отсутствует. 5. Нарушена стехиометрия (с. 19) при написании уравнений реакции.

**6. Отзыв** к.т.н., доц. кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного технологического университета Чуфистова О.Е. Отзыв положительный. Замечаний нет.

**7. Отзыв** д.т.н., проф. кафедры «Технологии нефтяного аппаратостроения» Уфимского государственного нефтяного технического университета Бугая Д.Е. Замечания: 1. Из текста автореферата не ясно, для каких конкретно узлов трения и каких смазочных материалов (жидких, консистентных) может применяться разработанная присадка. 2. Не указано, чем вызвано именно такое содержание присадки - 2,5%, нет его научного обоснования. 3. Имеются погрешности в оформлении автореферата, в частности, рисунков, не указаны размерности физических величин в формулах, стилистических ошибок, форматирование текста.

**8. Отзыв** ген. директора ООО «Хозрасчетный творческий центр Уфимского авиационного института», д.т.н., Шолома В.Ю. и зам. ген. директора ООО «Хозрасчетный творческий центр Уфимского авиационного института» к.т.н. Абрамова А.Н. Замечания: 1. Из автореферата не ясно, как влияет нагрузка и скорость скольжения

на процесс изнашивания исследуемой пары трения. 2. Непонятно присутствие графита в разработанном составе присадки к смазочным материалам, так как в экспериментальных данных, представленных в автореферате, антифрикционное действие графита не исследовано.

**9. Отзыв** зав. лабораторией методов и технологий упрочнения Института машиноведения имени А.А.Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), д.т.н., проф. Куксеновой Л.И. . Замечания: 1. Выявлением закономерностей формирования структуры и свойств поверхностного слоя антифрикционного материала при трении в условиях избирательного переноса занимались представители нескольких научных школ. Поэтому в итоговой части обзорной главы целесообразно было бы сформулировать имеющиеся к настоящему моменту разработанные научные положения, что позволило бы более ярко подчеркнуть научную новизну рассматриваемой диссертационной работы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их значительной публикационной активностью в области исследования пленкообразующих смазочных материалов для узлов трения, повышения износостойкости подвижных сопряжений путем использования синтетических смазочных материалов; научно-исследовательской деятельностью в организациях, имеющих в своей структуре высокоэффективные лаборатории, предназначенные для изучения физико-химических процессов в контакте, а также их личных достижений в разработке целого ряда фундаментальных проблем формирования трибопленок на поверхностях трения. Выбор ведущей организации определяется специализацией и высоким уровнем её лабораторий в рассматриваемой области исследований, значительным количеством эффективных разработок и широким кругом публикаций её сотрудников в ведущих специализированных изданиях.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований**

– **разработаны** новые антифрикционные присадки к смазочным материалам, введение которых в индустриальные масла (например, И-40А в количестве 2,5 % от объема) обеспечивает значительное снижение износа антифрикционного сплава по сравнению с работой подвижного сопряжения в базовом смазочном материале, а также снижает коэффициент трения пары антифрикционный сплав-сталь;

- **предложено** два рациональных состава антифрикционных присадок к смазочным материалам для заданных условий пары трения медный сплав-сталь. Первый – на основе касторового масла и производной многоатомных спиртов – обладает полной растворимостью в минеральных и синтетических смазочных материалах; второй – содержит соединения меди, реализующие явление избирательного переноса, и предназначен для трибосопряжений, в состав которых не входят медные сплавы;

- **доказана** эффективность использования разработанных составов антифрикционной присадки к смазочным материалам как на жидкой (минеральные и синтетические масла), так и консистентной основе для определенных условий контактирования. При этом установлено, что предложенная смазочная композиция, благодаря образованию на поверхностях трения медьсодержащей пленки, обеспечивает повышение контактной выносливости не менее чем 1,3 раза в сравнении с работой в семействе базовых минеральных индустриальных масел.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что** применение рентгеноспектрального, рентгенофотоэлектронного анализа и ИК-спектральных исследований позволило установить, что процесс образования медь- и цинксодержа-

щей пленки в приповерхностном микрообъеме пары медный сплав-сталь в среде глицерина сопровождается микросхватыванием поверхностного слоя медного сплава, а также его механическим, абразивным и коррозионно-механическим изнашиванием. Кроме того, подтверждено наличие диффузионного макроскопического потока цинка на пути трения пары медный сплав-сталь в глицерине и присутствие на поверхностях трения подвижных сопряжений высокомолекулярной пленки, содержащей медь и цинк.

#### **Применительно к проблематике диссертации результативно**

- **использован** расчетный подход к решению математической плоскопараллельной модели одномерной диффузии, что необходимо для выявления характера изменения массопереноса основных элементов медного сплава – цинка и меди;

- **изложены**, на базе рентгеноспектральных методов исследования, доказательства наличия диффузионного макроскопического потока цинка и снижение в 3 раза по сравнению с исходным его содержания в поверхностном слое, что подтверждают результаты выполненных математических исследований;

- **раскрыт** характер зависимости между содержанием металлов в зоне трения пары сталь-медный сплав и изнашиванием образцов.

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

- **разработана:** технология получения присадок к смазочным материалам, формирующих медь- и цинксодержащие пленки в зоне трения подвижных сопряжений.

- **определены** состав и соотношения компонентов присадок, исходя из результатов экспериментальных исследований в смазочных материалах для конкретных условий контактирования;

- **создана** новая антифрикционная присадка, введение которой в минеральные масла (например, И-40А) обеспечивает значительное снижение коэффициента трения и износа в парах медный сплав-сталь, алюминиевый сплав-сталь, а также способствует снижению коэффициента трения и износа в паре сталь-сталь и повышению контактной выносливости тел качения не менее чем в 1,3 раза;

- **представлен** состав присадки, который испытан на машине трения СМЦ-2 при нормальной нагрузке в 6,0 МПа, скорости скольжения 1,0 м/с, в парах трения сталь 40ХН – алюминиевый сплав А020-1, сталь 40ХН – латунь Л63 при 20 °С .

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:**

– **теория** построена на известных закономерностях и расчетных зависимостях, проверяемых данных и фактах, а также фундаментальных положениях научного направления «Избирательный перенос в узлах трения»;

- **идея базируется** на общепринятых закономерностях трибологии и металлостроения;

– **использованы** апробированные методики проведения исследований на современном высокоточном исследовательском оборудовании.

#### **Личный вклад соискателя состоит в:**

- в разработке нового подхода и концепции создания антифрикционной присадки к смазочным материалам;

- в разработке практических рекомендаций по составу присадок к смазочным материалам, реализующих явление избирательного переноса, которые используются для повышения износостойкости трибосопряжений на Опытном заводе смазок и оборудования (г. Уфа) и в ООО «Рабика-энергосбережение» (г. Набережные Челны);

- в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении результатов применения разработанных присадок, обеспечивающих повышение износостойкости трибосопряжений путем образования на поверхностях трения композиционных металлоорганических защитных пленок;

- в подтверждении формирования металлсодержащей защитной пленки на контактных поверхностях трибосопряжений при взаимодействии со сталью двухфазных антифрикционных сплавов в среде в поверхностно-активных смазочных материалах.

**Диссертация охватывает** основные вопросы поставленных научных задач и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, корректной постановкой цели и задач исследования; строгостью теоретического обоснования и проведением практических испытаний разработанных методов.

На заседании 12.05.2016 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Пичугина Сергея Дмитриевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена задача по снижению трения и изнашивания пары медный сплав-сталь, выполнены экспериментальные исследования процессов трения и изнашивания пар медный сплав-сталь, проведены измерения характеристик микрогеометрии поверхностных слоев подвижных сопряжений, а также современные прецизионные физические исследования элементного состава, строения и толщин защитных пленок на поверхностях трения трибосопряжения, элементного состава и содержания продуктов изнашивания в смазочных материалах, и принял решение присудить Пичугину Сергею Дмитриевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.02.04, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 2, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя диссертационного совета  
Д 218.010.02 доктор технических наук,  
профессор



В.В. Шаповалов

Ученый секретарь диссертационного совета  
Д 218.010.02, доктор технических наук,  
профессор

П.Н. Щербак