

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе **ЕМАЕВА Ильи Игоревича** на тему «Повышение износостойкости подвижных сопряжений на основе исследования совместимости трущихся поверхностей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах»

1. Актуальность темы диссертации

Одной из основных проблем практически всех механических систем, определяющей ресурс и надежность их длительной эксплуатации, является повышение износостойкости трибосопряжений и поиск путей увеличения продолжительности их работы в различных условиях, в том числе экстремальных, характеризующихся высокими значениями удельных нагрузок, скоростей, температур, воздействием коррозионной среды и т.п.

Для узлов трения, работающих в экстремальных условиях, в первую очередь встают вопросы совместимости трущихся поверхностей, т.е. способности фрикционной пары в соответствующей смазочной среде или ее отсутствии приспособляться друг к другу в процессе трения, от правильного решения которых зависит обеспечение заданной долговечности трибосопряжения.

К числу таких узлов трения, работающих при повышенных нагрузках, относятся как тяжело нагруженные пары трения в машиностроении, так и кинематические узлы – эндопротезы, работающие в биологической среде и используемые в артропластике. Повышение эксплуатационных свойств эндопротезов обусловлено необходимостью обеспечения их высокой износостойкости и надежности, поскольку связано с оперативным вмешательством в тело человека. Однако, изменяющиеся режимы работы – наличие или отсутствие смазочной среды, повышенные значения давления, температуры и т.п., оказывают существенное влияние на изменение физико-механических и триботехнических свойств поверхностей контакта и смазочной среды. Эти обстоятельства вынуждают проводить дальнейшие исследования по совершенствованию, как составов смазочных материалов, так и изучению механизмов их влияния на поверхности трения и выявлению причин, вызывающих их недолговечную работу.

Следует отметить, что трибология, как наука, оказалась в некотором долгу перед человечеством в том, что до сих пор не создано достаточно надежных узлов трения – аналогов естественных узлов трения человека – тазобедренных, коленных, локтевых и других суставов. В этом смысле, работа Емаева И.И. в некоторой степени восполняет указанный пробел и имеет большое научное и практическое значение.

Совершенствование узлов трения и смазочных систем, включающих новые компоненты, требует углубленных научных исследований по изучению составов, строения, свойств, механизма взаимодействия их с поверхностями изнашивания. В этом отношении рассматриваемая работа диссертанта вносит определенный научный вклад в решение проблемы повышения

износостойкости тяжело нагруженных узлов трения.

Таким образом, диссертационная работа Емаева И.И., направленная на изучение влияния совместимости трущихся поверхностей на повышение износостойкости и эксплуатационных свойств узлов трения, является востребованной и актуальной.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Автором установлены и научно обоснованы закономерности, в соответствии с которыми на индекс совместимости S трущихся поверхностей оказывают существенное влияние температура, физико-механические свойства зоны фрикционного контакта и смазочная среда.

Установлено, что окисление основы пластичного смазочного материала озоном и активные компоненты углеродного каркаса, используемого в качестве комплексной добавки в смазочную среду, оказывают благоприятное влияние на характеристики адгезионного взаимодействия и повышают противозадирные и противоизносные свойства смазочного материала.

Диссертантом экспериментально показано, что замена мягких вкладышей (из полиэтилена) на более твердые (из керамики) в эндопротезе тазобедренного сустава, снижает индекс совместимости S трущихся поверхностей, повышает их износостойкость и уменьшает зависимость процесса изнашивания от давления на фрикционном контакте.

Кроме того, на основе проведенных экспериментов показано, что коэффициент упрочнения адгезионных связей β , определяющий величину индекса совместимости S , отражает часть энергии трения, расходуемой на изнашивание.

3. Значимость результатов для науки и практики

Значимость результатов для науки заключается:

- в установлении и научном обосновании автором теоретико-экспериментальных зависимостей между составом пластичных смазок и их триботехническими характеристиками при различных условиях воздействия температуры и удельной нагрузки, обеспечивающими работоспособность тяжело нагруженных узлов трения вплоть до температуры 600 °С и повышение их износостойкости до двух раз;
- в разработке для тяжело нагруженных узлов трения нового пластичного смазочного материала на основе углеродного каркаса, защищенного патентом РФ;
- в установлении зависимостей изнашивания трибосопряжений от коэффициента упрочнения адгезионных связей β , позволяющих прогнозировать эксплуатационную долговечность сопряжений по износостойкости.

Значимость результатов для практики заключается:

- в разработке и апробировании оригинальной методики стендовых испытаний пары трения «головка-вкладыш» на модернизированной четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 для использования в

исследовании материалов, применяемых в эндопротезах тазобедренного сустава;

- в рекомендациях по применению материалов для эндопротезов тазобедренного сустава с учетом веса и степени двигательной активности пациента, позволяющих увеличить срок службы конструкции до 3-х раз;
- в модернизации и дополнении результатами настоящей работы информационной базы данных материалов по триботехническим и технологическим характеристикам.

По результатам исследований автором в соавторстве получен патент РФ на изобретение №2602327 «Смазочный материал на основе композиции технического углерода для тяжело нагруженных узлов трения». Результаты экспериментальных исследований, полученные с применением данного смазочного материала по разработанной методике, имеют существенное значение для создания новых и развития существующих технологий повышения износостойкости для конкретных условий эксплуатации.

Результаты работы автора внедрены на предприятиях ПАО «ОДК – УМПО» (г. Уфа) и АО «УППО» (г. Уфа), а также приняты к использованию в лечебной практике в ГБУЗ РБ БСМП (г. Уфа).

Материалы диссертации используются в УГАТУ при изучении курсов «Детали машин и основы конструирования» и «Технология машиностроения».

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, приведенные в рассматриваемой работе, полностью обоснованы проведенным комплексом необходимых исследований: от идеи и создания теоретических предпосылок и аналитических выкладок, основанных на известных положениях фундаментальных наук, и сходимостью полученных теоретических результатов с большим объемом экспериментальных данных, до проведения лабораторных экспериментов и испытаний узлов трения в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, так как все экспериментальные исследования диссертантом проведены в соответствии с действующими государственными стандартами или многократно апробированными на практике методиками и на современном оборудовании, своевременно прошедшем государственную поверку. Кроме того, достоверность подтверждается взаимной согласованностью данных, полученных на различных приборах физико-химических методов исследования, а именно: растровом электронном микроскопе JSM – 6790LV, 3D-лазерной сканирующей и 2D-оптической микроскопии на микроскопах LSM-Exciter и Axiotech соответственно, и обработаны в соответствии с классическими требованиями математической статистики.

5. Общая оценка содержания диссертации

Диссертация оставляет хорошее впечатление от прочтения. Материал диссертации структурирован и логично представлен, включает пять глав, общие выводы и рекомендации, список использованных источников литературы (148 наименований), общим объемом в 176 страниц машинописного текста, содержит 67 рисунков, 23 таблицы и 4 приложения.

Во введении указывается общая характеристика представленной работы, сформулированы актуальность, цель, задачи исследований, научная новизна и значимость проведенной работы для науки и практики.

Первая глава посвящена анализу состояния проблемы, решение которой предлагается автором в настоящей диссертации. Им проведена большая кропотливая работа, в которой на основе изучения мировой научно-технической литературы дается критический анализ узлов трения, работающих в экстремальных условиях, рассмотрены особенности их трения и изнашивания, перечисляются их достоинства и недостатки. Подчеркивается, что современной тенденцией в вопросе повышения работоспособности тяжело нагруженных узлов трения является реализация научно обоснованных подходов, основанных на применении методов неравновесной термодинамики и гидродинамической аналогии.

Во второй главе дана теоретическая основа и рассмотрены указанные выше два подхода, а также приведены методики и оборудование для проведения триботехнических, металлографических и других экспериментальных исследований. На основе неравновесной термодинамики делается научно обоснованный вывод о возможности снижения коэффициента трения в трущейся паре за счет использования смазки со специальными добавками, снижающими ее коэффициент теплопроводности. Использование гидродинамической аналогии позволило автору прийти к известной формуле зависимости сопротивления сдвигу, связанного с подвижностью «третьего тела». Описаны методики проведения основных экспериментальных работ.

Третья глава работы посвящена исследованию триботехнических характеристик пластичных смазочных материалов (ПСМ), модифицированных углеродным каркасом. Изучен химический состав и дано сравнение триботехнических характеристик ПСМ, модифицированных углеродным каркасом, естественным углеродом и дисульфидом молибдена. Рассмотрено влияние окисления ПСМ озоном на характеристики адгезионного взаимодействия при трении с учетом давления и температуры и исследовано влияние смазочной композиции на износ и коэффициент трения.

По результатам проведенных исследований автором предложен состав пластичного смазочного материала с углеродным каркасом, который способен влиять на совместимость трущихся поверхностей и улучшать работу узла трения.

В четвертой главе рассмотрены триботехнические характеристики эндопротезов тазобедренного сустава, включающие исследования влияния материалов пары трения «головка-вкладыш» и синовиальной жидкости на адгезионную составляющую силы трения, сравнение триботехнических характеристик различных эндопротезов и тазобедренных суставов кролика,

исследование зависимости износа эндопротезов от показателей адгезионного взаимодействия пар трения. Исследованиям подвергались 10 сочетаний пар трения, проведенных на стенде, модернизированном из четырехшариковой машины трения, лучшие результаты которых показали сочетания циркониевой и алюминиевой керамики.

Следует отметить как заслуживающим уважение проведение автором натуральных исследований на тазобедренных суставах подопытных кроликов, подвергнутых различным деструктивно-дистрофическим поражениям (остеоартрозу), которые подтвердили выводы автора о наличии прямой связи адгезионных свойств от стадии и глубины процесса поражения суставов.

Как известно, все лучшее, что создано в технике, является удачным заимствованием у природы. Создание смазочного материала, который бы смог заменить синовиальную жидкость, являющейся смазкой в суставах человека, достаточно трудная задача. Поскольку, в зависимости от внешних условий нагружения (различных режимов: ходьбы, бега, поднятия тяжестей и т.п.), она способна менять свои свойства, изменяя вязкость, и не допускать непосредственного контакта поверхностей трения. Разработанный автором состав ПСМ с углеродным каркасом, конечно, не заменяет синовиальную жидкость, но в некоторой степени отвечает требованиям такого контакта, в особенности при высоких нагрузках, и, как показывают проведенные исследования, способствует улучшению работы трущегося сопряжения.

В пятой главе приведены обобщения и практические рекомендации по улучшению триботехнических характеристик ПСМ для подвижных тяжелонагруженных трибосопряжений, заключающиеся в том, что разработанная модифицированная добавка в ПСМ на основе углеродного каркаса способствует повышению износостойкости за счет снижения теплопроводности смазки. Сопоставление расчетных значений износа различных пар эндопротезов и фактических износов после 13-17 лет имплантирования показало их удовлетворительное совпадение, что позволяет делать обоснованный выбор технологии артропластики. Определяющим фактором повышения эксплуатационных свойств трибосопряжений, как показали исследования, являются показатели адгезионного взаимодействия, и прежде всего, коэффициент упрочнения адгезионных связей β , выполняющий по существу роль индекса совместимости трущихся поверхностей.

Результаты проведенных исследований дополнили базу ИБД ТТХ, разработанную ранее в университете, данными по адгезионному взаимодействию пар трения эндопротезов тазобедренного сустава, а также подвижных тяжело нагруженных трибосопряжений со смазкой, модифицированной углеродным каркасом, что позволяет еще на стадии проектирования узлов трения и выбора технологии артропластики прогнозировать износостойкость этих узлов трибосопряжений.

6. Замечания, выявленные недостатки работы

В качестве замечаний к работе следует указать следующее:

1. Приведенный в диссертации параметр K , названный автором как интенсивность изнашивания, с моей точки зрения выбран неудачно,

поскольку, как известно, интенсивность изнашивания представляет собой устоявшийся гостированный термин, означающий отношение износа, приходящегося на обусловленный путь трения, на котором происходило изнашивание, или объем выполненной работы (ГОСТ 27874-88 Трение, изнашивание, смазка. Термины и определения). Используемый автором параметр следовало бы так и назвать – износ, приходящийся на одно воздействие.

2. Вывод автора об адгезионно-усталостном механизме изнашивания рассматриваемых пар трения, основанный на результатах только металлографических исследований, приведенных в диссертации на стр. 114 (рис.3.20), на мой взгляд, не достаточен. Было бы целесообразно его дополнить еще результатами более тонких исследований микроструктуры.

3. В формуле 2.21 (стр.62) параметр ΔA не правильно обозначен как путь трения, в то время как это является приращением объема.

4. На стр.142 отклонения неровности продемонстрированы не гостированным параметром шероховатости RS_a и не указано, как он соотносится с известными параметрами шероховатости R_a и R_z (ГОСТ 2789-73), что затрудняет воспринимать информацию.

5. На стр. 31 параметр интенсивности линейного изнашивания J_h обозначен как линейный износ.

6. В списке цитируемой литературы встречаются наименования одного и того же источника под разными номерами, например: 9. Камалетдинова Р.Р. Применение керметов в запорной арматуре с учетом их триботехнических характеристик /Р.Р. Камалетдинова, Руст.Ф. Мамлеев, Раф.Ф. Мамлеев, Л.Ш.Шустер//Машиностроение и инженерное образование.-2016.-№1-С.12-21 и тот же самый источник указан под номером 55.

7. Имеется также некоторое количество шероховатостей в оформлении: ряд стилистических неточностей, описок, неточных ссылок и т.п. В частности:

- зачастую рисунки дублируют данные, приведенные в таблицах, например, рис. 3.2 (стр.84) и табл.3.2 (стр.83), рис.3.7 (стр.96) и табл.3.8 (стр.95);

- на некоторых зависимостях отсутствуют доверительные интервалы, что затрудняет проводить оценку их достоверности (например, рис.3.6 на стр.94);

- в ряде случаев ошибочно написаны фамилии и инициалы авторов, например: 130. Ахмаров А.С., вместо Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения.- М.: Физматгиз, 1963 – 472 с.;

- либо использованы неправильные термины – ультравысокомолекулярный полиэтилен (стр.24), вместо сверхвысокомолекулярный полиэтилен; бенотонитовая глина (стр.38), вместо бентонитовая глина; адсорбация (стр.81), вместо адсорбция и т.п.

Однако, отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от выполненной работы.

7. Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Основное содержание диссертации опубликовано в научной печати. По теме диссертации автором опубликовано 17 научных работ, 13 из которых входят в перечень ВАК Минобрнауки РФ, в которых полностью отражена суть рассматриваемого исследования в целом, получен патент РФ № 2602327 на «Смазочный материал на основе композиции технического углерода для тяжело нагруженных узлов трения». Диссертант принимал участие и докладывал основные моменты своей работы на 8 научных форумах различного уровня.

8. Автореферат написан четко, с приведением основных положений диссертации и достаточно полно отражает суть ее содержания.

9. Соответствие диссертационной работы паспорту специальности

Диссертационная работа Емаева И.И. соответствует паспорту специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах по пунктам: п.7- Триботехнические свойства материалов, покрытий и модифицированных поверхностных слоев; п.8 – Триботехнические свойства смазочных материалов; п. 15 – Механические и тепловые аспекты биотрибологии.

10. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результатами работы могут воспользоваться как научно-исследовательские организации, занимающиеся вопросами повышения износостойкости тяжело нагруженных узлов трения (ЦНИИМАШ, ИПМ РАН, вузы машиностроительного профиля), так и организации, занятые эксплуатацией и ремонтом машин и механизмов, а также в медицинской артропластике.

Кроме того, результаты диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке специалистов по направлениям «Технологические машины и оборудование», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» и специальностям «Технология машиностроения» и «Материаловедение и технология новых материалов».

11. Заключение

На основании экспертизы представленной работы можно сделать вывод, что диссертационная работа Емаева И.И. «Повышение износостойкости подвижных сопряжений на основе исследования совместимости трущихся поверхностей» является самостоятельной законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне на актуальную тему и содержит новые научные результаты. Проведенные автором исследования, посвященные изучению механизмов и закономерностей изнашивания тяжело нагруженных узлов трения, можно

квалифицировать как научно обоснованные технические решения, использование которых вносит существенный вклад в создание инновационных методов и технологий в области прогнозирования и увеличения срока службы узлов трения в целом. Диссертационная работа Емаева И.И. полностью отвечает требованиям ВАК РФ (п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Сам соискатель - Емаев Илья Игоревич, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

Официальный оппонент,

Профессор кафедры трибологии и технологий ремонта
нефтегазового оборудования ФГАОУ ВО
«РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
доктор технических наук

Владимир Николаевич Малышев

12.11.2018

Подпись Малышева В.Н. заверяю.

Начальник ОК РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина

Ю.Е. Ширяев

*Малышев Владимир Николаевич, доктор технических наук по специальностям 05.02.04 – Трение и износ в машинах и 05.02.01 – Материаловедение в машиностроении, профессор, профессор кафедры трибологии и технологий ремонта нефтегазового оборудования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»,
РФ, 119991, г. Москва, Ленинский проспект, 65, корп.1
Тел.: +7 499 507 8788
e-mail: vmal@inbox.ru*

Согласен на обработку своих персональных данных