

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО
«Тверской государственный технический
университет» д.ф.м.н., профессор

А.В. Твардовский

« 27 » 11 2018 г.

О Т З Ы В
ведущей организации
на диссертационную работу Емаева Ильи Игоревича
«Повышение износостойкости подвижных сопряжений
на основе исследования совместимости трущихся поверхностей»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах

1. Актуальность темы диссертации

Тема диссертационной работы И.И. Емаева безусловно актуальна как с научной, так и с практической точек зрения. В первую очередь актуальность работы связана с тем, что одна из целей ее - повышение износостойкости эндопротезов тазобедренного сустава человека. Повышение износостойкости пары трения искусственного сустава увеличивает срок его службы, уменьшает риск осложнений и в конечном итоге повышает качество жизни пациента, что всегда будет актуально. Кроме того, результаты работы позволяют повысить надежность и эффективность чисто механических подвижных сопряжений, работающих в экстремальных условиях трения и изнашивания (вакуум, высокие, низкие и криогенные температуры, высокие статические и динамические механические нагрузки, коррозионная среда и т.п.). Следует согласиться с автором в том, что подтверждением актуальности диссертационных исследований является соответствие их приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России, а также востребованность результатов в промышленности и медицине.

2. Краткий анализ содержания диссертации

Введение традиционно содержит общие сведения о диссертации: обоснование актуальности, цель и основные задачи исследования, научная новизна и практическая ценность диссертации, как они представляются автору, использованные методы исследования, другие общие характеристики работы.

Сформулированные во введении задачи исследования вытекают из поставленной цели и представляются достаточными для ее достижения.

Первая глава традиционно содержит анализ современного состояния вопроса и обоснование цели и задач исследования. Из многочисленных публикаций автор выбрал относящиеся к применению концепции совместимости материалов фрикционной пары и критериям оценки совместимости, а также к влиянию экстремальных условий трения на износостойкость различных материалов. В связи с целью работы, анализируются также особенности фрикционного взаимодействия в эндопротезах тазобедренного сустава человека.

Проведенный анализ позволил выделить ряд нерешенных проблем надежности и долговечности фрикционных пар, работающих в экстремальных условиях трения, а также при эндопротезировании суставов, на основании чего обоснованно поставить цель и вытекающие из нее задачи исследования.

Вместе с тем, в главе 1, на наш взгляд, содержится информация, не относящаяся непосредственно к объекту исследования, которую можно было бы заменить ссылкой на соответствующие литературные источники без ущерба для понимания сути излагаемого материала. К такой информации можно отнести, например, часть раздела 1.1: рис. 1.2, 1.3, 1.4 и поясняющий текст (стр. 17, 19, 20), классификацию пластичных смазочных материалов и другие общеизвестные сведения об их составе и свойствах в разделе 1.2.2, стр. 33-37, и другую известную информацию. Вместо этого в главу 1 целесообразно было бы перенести информацию обзорного характера из последующих глав, оставив в них изложение непосредственно результатов диссертационных исследований. Конкретно о подобной информации сказано ниже при анализе соответствующих глав диссертации.

Во второй главе представлены теоретическая и экспериментальная базы исследования. В разделе 2.1 автор применяет положения неравновесной термодинамики к анализу процессов трения и изнашивания. Такой подход в последнее время привлекает внимание трибологов. В данном случае, к сожалению, автор получил тривиальный результат в виде формулы (2.17), которая представляет собой не что иное, как уравнение баланса тепловых потоков: потока тепла J_1 , генерируемого при трении, и потока тепла J_2 , отводимого из зоны трения за счет теплопроводности. Очевидно

$$J_1 = \frac{1}{A_r} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{A_r} \frac{F_{\text{тр}} dl}{dt} = \frac{1}{A_r} \frac{f N dl}{dt} = f p_r v,$$

где A_r – фактическая площадь контакта, $F_{\text{тр}}$ – сила трения, dl – элементарный путь трения, dt – время, f – коэффициент трения, N – нормальная сила, приложенная к контакту, $p_r = N/A_r$ – фактическое контактное давление, $v = dl/dt$ – скорость. С другой стороны, по закону Фурье плотность потока тепла, отводимого из зоны контакта за счет теплопроводности,

$$J_2 = -\lambda \text{grad}(T),$$

где λ – коэффициент теплопроводности, T – температура. Приравнявая J_1 и J_2 , получаем формулу (2.17).

Раздел 2.2 не содержит новых выводов по сравнению с работой Л.Ш. Шустера (ссылка № 58 из списка литературы к диссертации) и вполне мог быть включен в обзорную главу 1, о чем сказано выше.

Разделы 2.3 – 2.7 содержат описание экспериментального оборудования, методики эксперимента и обработки экспериментальных результатов. Информация, приведенная в данных разделах, позволяет составить достаточно полное представление о методике экспериментов и сделать обоснованное заключение о достоверности экспериментальных результатов.

В третьей главе экспериментально доказаны преимущества так называемого углеродного каркаса (побочного продукта переработки нефти) перед традиционными компонентами пластичных смазывающих материалов – графитом и дисульфидом молибдена. Предложен оптимальный состав пластичного смазочного материала с применением углеродного каркаса. Эти результаты имеют несомненную практическую ценность. Интересный результат – своеобразный синергетический эффект – получен в разделе 3.4. Показано, что компоненты естественного углеродного каркаса, образующие единый комплекс, обеспечивают более высокие антифрикционные характеристики, чем те же компоненты, введенные в пластичный смазочный материал независимо друг от друга. Важным результатом является экспериментально установленная связь интенсивности изнашивания образцов с параметром удельной силы трения β , который рассматривается как индекс совместимости компонентов пары трения.

Четвертая глава содержит важные в практическом плане результаты исследования триботехнических характеристик эндопротезов тазобедренного сустава. Исследован широкий спектр различных материалов – полимерных, металлических, керамических. Показано преимущество алюминиевой и циркониевой керамик как материалов для изготовления эндопротезов тазобедренного сустава перед другими материалами. Как и в предыдущей главе, экспериментально показана зависимость износостойкости эндопротезов от параметра удельной силы трения β , который в первом приближении предлагается рассматривать как индекс совместимости компонентов пары трения.

Основное содержание **пятой главы** составляет описание информационной базы данных по фрикционным характеристикам и совместимости трущихся поверхностей. Наполнение ее данными по фрикционным характеристикам эндопротезов – важная практическая задача, которой следует уделить внимание при дальнейших исследованиях.

3. Научная значимость результатов

1. Для различных трибосопряжений, существенно отличающихся по условиям трения, показано, что параметр удельной силы трения β , характеризующий, по И.В. Крагельскому, упрочнение адгезионных связей с ростом нормальной нагрузки, может трактоваться как индекс совместимости трущихся поверхностей C .

2. При трении с пластичным смазочным материалом экспериментально показано влияние на индекс совместимости трущихся поверхностей материалов компонентов фрикционной пары, состава и свойств смазочного материала и условий трения (температура, окисление смазочного материала).

4. Практическая значимость результатов

1. Состав пластичного смазочного материала с применением углеродного каркаса, существенно повышающий износостойкость узлов трения по сравнению с пластичными смазочными материалами, содержащими традиционные антифрикционные компоненты – графит и дисульфид молибдена.

2. Рекомендации по применению материалов для изготовления эндопротезов тазобедренного сустава с учетом веса пациентов и степени двигательной активности, позволяющие в несколько раз увеличить срок службы протезов.

3. Методика стендовых испытаний пары трения «головка – вкладыш» с помощью модернизированной четырехшариковой машины трения для исследования материалов, применяемых в эндопротезах тазобедренных суставов.

4. Информационная база данных по триботехническим характеристикам материалов, используемых при изготовлении эндопротезов тазобедренных суставов.

5. Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Выводы, сформулированные в диссертации, логично вытекают из результатов исследований автора. Проведенные исследования базируются на признанных методах фундаментальных наук, стандартных методах экспериментальных исследований, сравнении полученных результатов с результатами других исследователей и поэтому представляются обоснованными и достоверными. Результаты, перечисленные в пунктах 3 и 4, являются новыми.

6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертации, касающиеся повышения износостойкости узлов трения за счет применения пластичных смазочных материалов на основе углеродного каркаса, рекомендуются к использованию на следующих предприятиях: ОАО «Пермский завод смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей» (г. Пермь), ООО «КсимПром» (г. Москва), ЗАО «Русская химическая компания», «Кусковский завод консистентных смазок (КУЗАКС)» - филиал ОАО "РЖД", ОАО «Ярославский нефтеперерабатывающий завод им. Д. И. Менделеева» (г. Ярославль) и других нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, выпускающих пластичные смазочные материалы.

Область применения предлагаемого смазочного материала, помимо соединений, указанных в диссертации, распространяется также на винтовые, цепные и зубчатые тихоходные передачи, а также на соединения, подверженные фреттинг – изнашиванию (шлицевые соединения, хвостовики лопаток турбин и т.п.).

Результаты, касающиеся повышения износостойкости пары трения «головка – вкладыш» эндопротезов тазобедренных суставов рекомендуются к использованию при протезировании тазобедренного сустава в таких медицинских учреждениях, как ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Министерства здравоохранения Российской Федерации (г. Чебоксары), ФГБУ «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения РФ (г. Курган), других федеральных и региональных медицинских центрах, где проводится эндопротезирование и резэндопротезирование тазобедренных суставов, а также могут использоваться для решения аналогичных задач при эндопротезировании коленного, локтевого и плечевого суставов человека.

7. Замечания по диссертации

Помимо замечаний, сделанных в п.2 при анализе содержания диссертации, имеются следующие замечания:

1. В главе 1, приводя примеры узлов трения, работающих в экстремальных условиях, автор указывает, что при их изготовлении используются коррозионностойкие и жаропрочные хромоникелевые стали и сплавы. Между тем в экспериментах по исследованию триботехнических характеристик пластичных смазок, описанных в главе 3, использована пара трения твердый сплав ВК8/сталь 45. Такое сочетание материалов характерно для обработки резанием: твердосплавный резец/стальная заготовка. Но при этом используются совсем другие смазочные материалы, чем исследовал автор. Как распространить результаты, описанные в главе 3, на другие пары трения, в том числе вышеупомянутые хромоникелевые сплавы? Ведь в

формировании т.н. «третьего тела», о котором речь идет в разделе 2.2, наряду со смазочным материалом участвуют материалы контактирующих деталей, о чем пишет автор на стр. 29.

2. Описывая экспериментальные методики и оборудование в главе 2, автор обошел вниманием важный вопрос о методике получения т.н. «углеродного каркаса», входящего в состав пластичного смазочного материала. На стр. 78 сказано только, что использован углеродный каркас собственного приготовления. Далее описано приготовление пластичного смазочного материала, но методика, условия, технология получения углеродного каркаса как такового не раскрыта.

3. На стр. 124 указано, что фактическую площадь касания головки с вкладышем определяли путем использования метода красок. Суть метода не раскрывается. Весь наш опыт говорит, что *фактическую* площадь контакта с помощью краски определить нельзя.

Имеется ряд менее существенных замечаний:

1. В п. 2.4.2 сказано, что химический состав образцов определялся с помощью растрового электронного микроскопа. Сам по себе РЭМ не позволяет определять химсостав, для этого нужен рентгеновский микроанализатор, о наличии и характеристиках которого ничего не сказано.

2. На графиках, представляющих экспериментальные результаты (см. например рис. 3.2, 3.3 и другие аналогичные), следовало бы привести доверительные интервалы.

3. Вывод 3 к главе 2 тривиален, и, по сути, выводом не является.

4. Рис. 4.1 полностью повторяет рис. 2.8, при этом позиция 4 на них расшифровывается по-разному.

5. В списке литературы имеются повторяющиеся ссылки (№№ 8,9,10 и 54,55,56). Фамилии некоторых авторов искажены.

8. Заключение

Диссертационная работа **Емаева Ильи Игоревича** представляет собой завершенную научную квалификационную работу на актуальную тему, в которой изложено решение задачи по повышению эксплуатационных свойств трибосопряжений, работающих в экстремальных условиях за счет применения пластичного смазочного материала на основе композиции технического углерода, а также по существенному увеличению срока службы эндопротезов тазобедренного сустава человека за счет выбора материалов пары трения.

Новые результаты, полученные диссертантом, имеют научную и практическую значимость для развития науки о трении и изнашивании. Выводы и результаты работы обоснованы.

Содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных научных работах, докладах на конференциях и семинарах и в автореферате.

Отмеченные в отзыве недостатки не меняют общую положительную оценку научного уровня данного диссертационного исследования.

В целом изучение диссертации И.И. Емаева позволяет сделать вывод о соответствии данной работы требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и паспорту специальности 05.02.04. На основании вышеизложенного считаем, что И.И. Емаев заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах.

Отзыв на диссертационную работу И.И. Емаева рассмотрен и утвержден единогласно на расширенном заседании кафедры «Прикладная физика» Тверского государственного технического университета (протокол №3 от 21.11.2018 года).

Заведующий кафедрой «Прикладная физика»
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
доктор технических наук, профессор

Александр Николаевич Болотов

26.11.18

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22.
Тел. (4822)78-88-80, email: alnikbltov@rambler.ru

Профессор кафедры «Прикладная физика»
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
доктор технических наук, профессор

Владимир Васильевич Измайлов

26.11.18

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, 22.
Тел. (4822)78-88-80, email: iz2v@tvcom.ru

