

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора Шкатова П.Н. на диссертационную работу Анцифоровой Елены Владимировны «Электрический метод трибомониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения (на примере подшипников)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

Актуальность работы

Проблема повышения качества машин и механизмов охватывает широкий круг вопросов, среди которых важное место отводится использованию объективных методов неразрушающего контроля, обладающих высокой достоверностью и обеспечивающих автоматизацию контрольных операций. Узлы трения и, в частности, подшипники качения – неотъемлемые компоненты машин, механизмов, механических систем приборов, технологического оборудования, транспортных объектов. Причем работоспособность узлов трения, на которые приходится значительное число отказов, существенно влияет на надежность объектов в целом.

В качестве основных областей использования разработанного метода трибомониторинга соискатель рассматривает ремонт узлов трения, а именно, ремонтное восстановление рабочих поверхностей опор качения. Известно, что по уровню развития ремонтное производство значительно отстает от основного, а затраты на ремонт технических объектов и потери от аварийных простоев в рамках экономики государства имеют глобальный масштаб. Учитывая, что во многих отраслях уровень износа оборудования приближен к критическому, внедрение и развитие прогрессивных ремонтных технологий – это важнейшая в научном, техническом и экономическом смысле задача. При этом любая технология, как и продукция, не может существовать без процедур контроля, без диагностического обеспечения. В связи с этим диссертационная работа Е.В. Анцифоровой, направленная на создание метода трибомониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения, является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Соискатель в рамках диссертационного исследования ставит ряд задач: анализ существующих методов исследования модифицирования поверхностей пар трения; обоснование физического принципа трибомониторинга, диагностического параметра и разработка математической модели диагностического признака; проведение теоретических исследований связи диагности-

ческого признака с условиями формирования модифицированного слоя на поверхностях трения; разработка методики проведения трибомониторинга и экспериментальное подтверждение достоверности теоретических положений и эффективности предложенного метода.

В рамках решения первой задачи соискатель выполнил глубокий анализ возможностей изучения процессов, связанных с действием серпентинов в зоне трения. Представлена классификация методов исследования трущихся поверхностей, дан анализ возможностей отдельных методов, описана научно-техническая сущность методов. В обзоре приведено достаточно ссылок на источники, в которых описано применение методов и средств исследования поверхностей металлов – их микрогеометрии, химического состава и других свойств. Приведены источники, в которых рассмотренные методы микроскопии и спектроскопии применены именно для решения задачи изучения процессов в зоне трения при модифицировании поверхностей трения геомодификаторами.

По результатам обзора методов соискатель делает закономерный вывод, что в большинстве случаев для изучения рассматриваемых процессов ремонтного восстановления трибосопряжений требуется разрушение объекта для возможности исследования его поверхностей трения. Это, в свою очередь, противоречит выбранной концепции трибомониторинга узла трения в процессе его работы. Следовательно, вывод о необходимости разработки нового метода из группы методов неразрушающего контроля является обоснованным, как и выбор вида контроля, так как электрические методы трибодиагностики и трибомониторинга действительно обладают высокой чувствительностью к процессам трения на уровне микрогеометрии поверхностей трибосопряжений.

В рамках решения второй задачи соискатель выполнил серьезные исследования по ряду направлений.

Во-первых, сделан глубокий анализ современных научных трактовок сущности физико-химических процессов, связанных с действием восстановительных составов. В результате было установлено, что информация производителей ремонтно-восстановительных составов об их действии представляется слишком упрощенной, так как процессы разложения серпентинов при трении приводят не только к изменению микрогеометрии и формированию слоя с особыми физическими параметрами, но и к иным условиям смазки, а именно, к повышению адгезии компонентов смазочных материалов на поверхностях трения. Это позволило соискателю сформулировать изложенный в работе физический принцип трибомониторинга и определить направление модернизации известной ранее математической модели диагностического признака.

Во-вторых, соискателем проведены предварительные экспериментальные исследования, целью которых было доказательство возможности применения вероятности электрического микроконтактирования в зоне трения и параметра «нормированное интегральное время электрического микрокон-

тактирования» (НИВ) для исследования процессов граничного трения. Результаты данных экспериментов в диссертации описаны достаточно подробно и вполне достоверно подтверждают выдвинутый тезис, что при отсутствии жидкостной смазки вероятность микроконтактирования, оцениваемая по параметру НИВ, может отличаться от 100 %. Без результатов этих экспериментов разработка математической модели вероятности контактирования была бы необоснованна, а дальнейшая часть работы была бы бессмысленна.

В-третьих, были проведены исследования по уточнению зависимости вероятности электрического микроконтактирования в зоне трения от условий фрикционного взаимодействия. Соискатель поставил задачу учесть в математической модели не только влияние на вероятность контактирования соотношения между толщиной смазочного слоя и параметрами шероховатости поверхностей, но и фактор образования в зоне трения модифицированного слоя с лучшей способностью к формированию устойчивых граничных слоев компонентов смазочного материала. Представленная новая математическая модель полностью удовлетворяет поставленным критериям. При разработке диагностической модели соискатель использовал теоретические положения трибологии и трибодиагностики, признанные на мировом уровне.

В рамках решения задачи проведения теоретических исследований соискателем получены аналитические зависимости диагностического признака от условий смазки. Показано, что для одного и того же соотношения между толщиной смазочного слоя и высотами микронеровностей вероятность электрического микроконтактирования в зоне трения может быть различной и дополнительно зависит от значения коэффициента защитного покрытия, выражающего соотношение площади, модифицированной восстановительным составом, и потенциальной площади контакта деталей подшипника.

Расчеты выполнены на основе разработанной математической модели и типовой распространенной методики решения контактно-гидродинамической задачи для подшипника качения.

Решение последней задачи достигнуто за счет разработки метода трибомониторинга, методики исследования восстановительных процессов на поверхностях трения, а также за счет проверки достоверности предложенных в диссертации решений.

Защищаемый метод трибомониторинга процессов восстановления поверхностей трения базируется на совокупности правил по использованию физического принципа трибомониторинга, технических средств и математического аппарата, который описывает предложенный физический принцип и порядок обработки результатов измерения диагностического параметра.

Исследования по разработке метода и методики связаны, в основном, с поиском качественного и количественного критерия, который позволил бы оценить эффективность процессов восстановления рабочих поверхностей, то есть процессов модифицирования поверхностей трения. Эту задачу соискатель решил на эмпирическом уровне. На основании обработки результатов мониторинга процессов приработки подшипников с различными смазочными

композициями и с различным качеством самих объектов было установлено, что случаю эффективной приработки и восстановления соответствует ряд принципиальных признаков в характере изменения параметра НИВ в процессе обкатки подшипника. Соискатель справедливо предложил при обработке результатов экспериментов использовать статистический параметр – коэффициент вариации, который является чувствительным к совокупности установленных ключевых признаков эффективной приработки подшипника. Эксперименты в работе проводились для двух типов подшипников, и соискатель показал, что получая достаточный объем статистических данных, имеется возможность установить в качестве априорной информации для последующих экспериментов числовое значение коэффициента вариации для выработки суждения об эффективности восстановительных процессов в подшипнике.

Несмотря на то, что в тексте автореферата не рассматриваются вопросы принципов измерения параметра НИВ, в диссертации присутствует вся необходимая информация об используемом измерительном приборе, принципах его построения, технических характеристиках. Так как эта информация не является новой, то соискатель приводит ее не в основном тексте диссертации, а в приложении.

Разработанная методика трибомониторинга характеризуется полнотой описания основных разделов, представляется доступной для специалистов с обычной инженерной квалификацией в области контроля. Основная доля трудоемкости разработанного метода и методики мониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения связана с необходимостью проведения серии предварительных экспериментов, в ходе которых требуется получить априорную информацию о типовых значениях времени приработки подшипника конкретного типа, а также о типовых значениях коэффициента вариации диагностического параметра, на основании чего выносятся заключение об эффективности работы восстановительного состава.

Методика опробована, получила практическое внедрение, а достоверность реализации экспериментов можно оценить по содержанию экспериментальных данных – по результатам измерения диагностического параметра, приведенным в одном из приложений диссертации.

Достоверность положений диссертационной работы в целом соискатель подтверждает применением образцовых методов исследования, в качестве которых выступают электрический метод контроля состояния поверхностей трения подшипников на микроуровне (метод поиска локальных дефектов), общепризнанный метод трибометрии (метод измерения параметров микрогеометрии рабочих поверхностей трения), а также стандартизованный метод оценки смазывающей способности (метод краевого угла смачивания).

Применение указанных образцовых методов соискатель использует для доказательства двух основных положений физического принципа, а именно, доказывает факт чувствительности диагностического параметра к процессам восстановления микрогеометрии и к различию в процессах формирования

граничных слоев смазочного материала при различных уровнях адсорбционной способности.

Достоверность результата измерения диагностического параметра в работе подтверждается выполненным метрологическим анализом, который показал, что инструментальная погрешность измерения НИВ на порядок ниже среднего квадратического отклонения параметра, которая оценивает исследуемый случайный процесс микроконтактирования в зоне трения.

Таким образом, все поставленные задачи диссертационной работы решены в полном объеме, выводы, данные в отдельных главах и в заключении, соответствуют этим задачам, при этом в диссертации присутствуют в полном объеме описания отдельных работ, на которых основана достоверность пунктов научной новизны и положений, вынесенных на защиту.

Значимость, новизна результатов работы и практическая ценность

Соискатель в качестве пунктов научной новизны рассматривает физический принцип трибомониторинга модифицирования поверхностей трения при наличии в смазочном материале геомодификатора трения и математическую модель диагностического признака, теоретические зависимости, описывающие связь диагностического признака с качеством трущихся поверхностей, а также экспериментальные результаты трибомониторинга процессов модифицирования поверхностей трения.

Анализ содержания диссертации подтверждает, что отмеченные результаты действительно являются новыми. Основная значимость работы в научном плане состоит в том, что впервые предложена новая модель диагностического признака (вероятности электрического микроконтактирования в зоне трения). Классическая модель была разработана коллективом ученых под руководством профессора Корндорфа С.Ф. еще в прошлом веке, и по настоящий момент использовалась учеными в неизменном виде при исследовании процессов трения в условиях смешанной смазки. Соискатель изменил математическую модель таким образом, что она стала применима и к процессам трения при граничной смазке, что существенно расширяет функциональные возможности электрорезистивных методов трибодиагностики и трибомониторинга с применением параметра НИВ.

Практическая ценность работы основывается на том, что соискателем разработана методика трибомониторинга процессов ремонтного восстановления опор качения. Данная методика вполне работоспособна в прикладном аспекте, о чем свидетельствуют акты о внедрении результатов работы, а также информация, что отдельные результаты работы были использованы при выполнении исследовательских проектов, в частности проекта «Исследования в области электрических методов мониторинга нанотехнологий восстановления трущихся поверхностей» (грант РФФИ 09-08-99076 – 2009 г.) и проекта «Разработка метода мониторинга процессов формирования модифи-

цированных слоев на рабочих поверхностях пар трения», выполненного под руководством соискателя на основании заключенного государственного контракта в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Общие замечания по диссертационной работе

Диссертационное исследование выполнено на высоком уровне. В качестве замечаний следует отметить следующее.

1. Соискатель в работе не приводит перечень факторов, которые могут ограничивать применение разработанного метода трибомониторинга.

2. Разработанная методика трибомониторинга предназначена не только для лабораторных стендовых исследований, но и для функционального трибомониторинга объектов. В основном содержании диссертации при описании методики не анализируется специфика проведения измерений диагностического параметра, например, в реальных цеховых условиях (наводки и помехи, конструктивные особенности узлов трения, возможность обеспечения электрического контакта с объектом трибомониторинга и др.).

3. Теоретические положения, разработанная математическая модель диагностического признака, а также экспериментальные результаты получены для подшипников качения, то есть в работе рассматривается трение качения. При этом в предварительных экспериментах для обоснования возможности применения диагностического параметра к исследованию процессов формирования граничных слоев смазочного материала соискатель применяет иную схему трения, в которой реализуется трение скольжения. Пояснения по допустимости такого подхода отсутствуют.

4. Соискатель при разработке математической модели не сделал попыток аналитически описать выявленные экспериментально значимые признаки эффективной приработки и восстановления поверхностей трения. Решение такой задачи позволило бы перейти непосредственно к модели самого диагностического параметра НИВ и функционально описать зависимость коэффициента вариации параметра от ключевых признаков эффективного восстановления рабочих поверхностей.

Заключение

Диссертационная работа «Электрический метод трибомониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения (на примере подшипников)» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью. Область исследования соответствует п. 1 и п. 6 паспорта специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Полученные соискателем результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Результаты диссертации опубликованы в открытой печати,

обсуждались на многих научно-технических конференциях. Диссертация хорошо структурирована, текст изложен грамотно в научно-техническом стиле. По каждой главе имеются выводы.

Опубликованные соискателем работы соответствуют содержанию диссертации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Электрический метод трибомониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения (на примере подшипников)» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи создания метода трибомониторинга безразборных ремонтных технологий для узлов трения. Диссертация соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней применительно к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Анцифорова Елена Владимировна, достойна присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор кафедры
«Материаловедение и технологии материалов и покрытий»
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Московский государственный технический университет
радиотехники, электроники и автоматики»

«20» марта 2015 г.

П.Н. Шкатов



Контакты оппонента:

Шкатов Петр Николаевич

119454, г. Москва, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики», пр. Вернадского, д.78.

Тел. +7(499) 268-13-17, e-mail: petr_shkatov@mail.ru