

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый зам. директора  
Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский государственный университет  
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
д.т.н., профессор А.Л. Жизняков



«18» марта 2015

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации 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 темы диссертационной работы**

В соответствии со стандартом «Диагностирование изделий. Общие требования» разработка диагностического обеспечения представляется неотъемлемой процедурой при постановке на производство изделий и их составных частей. Необходимо отметить, что это в полной мере распространяется не только в отношении, собственно, продукции, но и отдельных стадий ее жизненного цикла, а также различных технологий.

В рассматриваемой диссертационной работе указанная задача решается в отношении технологии ремонта узлов трения (на примере подшипников качения). В частности, речь идет о технологиях ремонтного восстановления трущихся поверхностей с применением геомодификаторов трения, добавление которых в смазочные материалы обеспечивает безразборное восстановление трибосопряжений, которое выражается в повышении ресурса пар трения, улучшении условий трения, в снижении энергетических затрат, связанных с эксплуатацией объектов с узлами трения.

Совершенствование технологий ремонта вызывает самый пристальный интерес, как со стороны производителей, так и со стороны субъектов, эксплуатирующих технические объекты. По статистике относительные трудозатраты на текущий и капитальный ремонт, например, автотранспорта составляют более 50 %, а ремонтные простои автотранспорта в среднем автохозяйстве достигают от 30 до 40 % календарного времени. При этом именно на узлы трения в большинстве случаев приходится наибольшая интенсивность отказов.

Эффективным решением проблемы повышения надежности трибосопряжений в настоящее время являются основанные на различных принципах



технологии обработки рабочих поверхностей трения, направленные на улучшение их триботехнических характеристик. Применение геомодификаторов следует рассматривать как один из таких подходов. Известно, что рынок смазочных композиций с восстановительными составами существует уже не первое десятилетие, и эффективность применения таких составов эмпирически доказана для различных видов узлов трения. Тем не менее, область применения данных технологий до настоящего времени ограничивается, в основном, узлами трения автомобильного транспорта, а основными потребителями восстановительных составов остаются частные автовладельцы. Информация о внедрении технологий ремонтного восстановления на основе применения геомодификаторов промышленными субъектами в научно-технической литературе встречается сравнительно редко, и подобные реализации обычно проходят в рамках экспериментальных работ. Отсутствие нормативной базы, методик контроля и мониторинга процессов ремонтного восстановления, то есть, диагностического обеспечения сдерживает продвижение рассматриваемых технологий, которые, несомненно, представляются экономически эффективными.

Таким образом, диссертационная работа, целью которой является расширение функциональных возможностей электрорезистивного контроля узлов трения за счет обеспечения мониторинга процессов модифицирования пар трения при реализации технологий их ремонтного восстановления, является актуальной.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Описанные в диссертационной работе исследования обладают научной новизной. Несмотря на то, что вопросы разработки и совершенствования электрических методов изложены в трудах многих ученых, среди которых Дж. Кеннел, Д. Снидекер, Т. Тэллиан, С.Ф. Корндорф, К.В. Подмастерьев, Ю.М. Санько, А.А. Бобченко, В.В. Нестеренко, В.П. Чечуевский, А.И Свириденко, О.В. Холодилов, Н.К. Мышкин и др., соискатель рассматривает новый объект исследования – диагностическую модель процессов электрического микроконтактирования в зоне трения, учитывающую наличие модифицированных слоев на рабочих поверхностях. Большинство фундаментальных и прикладных работ в области трибодиагностики и трибомониторинга посвящено деградационным процессам в трибосопряжениях, а разработанные методы решают разноплановые задачи дефектоскопии и контроля процессов изнашивания. При этом соискатель убедительно доказывает, что перенести теоретические основы известных методов, в частности, метода комплексного диагностирования опор качения с применением уже известного диагностического признака на решение новой задачи невозможно, так как ремонтное восстановление трибосопряжений связано с особыми процессами в зоне трения, чем и объясняется необходимость создания новой математической модели процессов контактирования, а также необходимость использования нового физического принципа.



К числу новых научных результатов, полученных в диссертационной работе, следует отнести следующие:

– предложен и обоснован оригинальный физический принцип трибомониторинга модифицирования поверхностей трения при наличии в смазочном материале геомодификатора трения и предложена математическая модель диагностического признака – вероятности электрического микроконтактирования в зоне трения, базирующаяся на теориях контактирования шероховатых поверхностей, электрического сопротивления контакта шероховатых поверхностей, теории смазки и отличающаяся учетом изменения смазочной способности при формировании модифицированных слоев;

– получены теоретические зависимости, описывающие связь диагностического признака «вероятность электрического микроконтактирования в зоне трения» с качеством трущихся поверхностей, учитывающие не только характеристики микрогеометрии поверхностей, но и наличие в зоне трения граничных смазочных слоев с повышенной адсорбционной (смазочной) способностью;

– экспериментальные результаты трибомониторинга процессов модифицирования поверхностей трения с использованием диагностического параметра «нормированное интегральное время электрического микроконтактирования» и его статистической характеристики (коэффициента вариации), обеспечивающей качественную и количественную интерпретацию результатов трибомониторинга, позволяющей оценивать эффективность восстановления трущихся поверхностей.

Новизна результатов работы подтверждается их приоритетным опубликованием в профильных периодических научных изданиях, а также поддержкой Российским фондом фундаментальных исследований проекта, тематика которого созвучна теме диссертационной работы, и в котором принял участие соискатель.

### **Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертации**

Теоретические исследования проведены на базе положений теорий: вероятности, электрорезистивной трибодиагностики, контактно-гидродинамической, контактирования шероховатых тел. Применены методы статистического и регрессионного анализа, математического моделирования. Данная теоретическая и методическая база использована соискателем корректно.

Обоснованность и достоверность положений диссертации, результатов и выводов подтверждается следующим:

– для обоснования физического принципа трибомониторинга соискатель выполнил качественный анализ существующих гипотез о сущности физических и химических процессов в зонах трения при наличии серпентинов в качестве геомодификаторов трения. При этом были рассмотрены все основные гипотезы, в том числе противоречивые. Автор диссертации приводит сведения об исследованиях действия восстановительных составов, выпол-



ненных в многочисленных организациях, в том числе в структурных подразделениях РАН. Выполненная на основе обзора результатов указанных исследований структуризация и классификация гипотез позволила выявить основные факторы, связанные с процессом модификации поверхностей трения, которые и были использованы для формализации предложенного физического принципа трибомониторинга. Сделанные в этом плане выводы согласуются с научным мнением ведущих ученых в области трибологии, с содержанием работ, опубликованных в ведущем научном издании в данной области;

– необходимость разработки новой математической модели диагностического признака, а также возможность использования диагностического параметра «нормированное интегральное время электрического микроконтактирования» (НИВ) для случая граничного трения подтверждена экспериментально. Представленные результаты экспериментов по исследованию зависимостей электрических параметров зоны трения от смазывающей способности являются наглядными и не допускают иных трактовок. Таким образом, выводы о применимости параметра НИВ для контроля процессов формирования граничных слоев и модифицирования поверхности трения являются обоснованными;

– результаты теоретических исследований с использованием разработанной математической модели диагностического признака подтверждены экспериментально. Достоверность самих экспериментов базируется на применении образцовых методов. Достоверность полученных при измерении параметра НИВ данных также подтверждается выполненным метрологическим анализом метода;

– обоснованность подхода к обработке результатов измерения диагностического параметра с использованием в качестве критерия коэффициента вариации основывается на том, что соискатель сформулировал четкие признаки эффективной приработки подшипника, которые можно идентифицировать при качественном анализе временных диаграмм измеренного диагностического параметра. Чувствительность коэффициента вариации к указанным признакам соответствует источникам по статистическому анализу и обработке данных;

– простота разработанного метода подтверждается анализом содержания предложенной методики трибомониторинга процессов ремонтного восстановления подшипников, которая предполагает использование сравнительно дешевых измерительных средств, не требует высокой квалификации диагноста;

– достоверность полученных результатов также косвенно подтверждается их широкой апробацией: стадии исследования опубликованы в печати, докладывались на конференциях высокого уровня, использованы при выполнении финансируемых проектов, наконец, получили практическое внедрение.

### **Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

Работа обладает как научной, так и практической ценностью.



В научном аспекте важнейшим моментом представляется то, что соискатель предложил новую модель диагностического признака (вероятности электрического микроконтактирования в зоне трения), которая десятки лет применялась в классическом виде и не допускала использования параметров микроконтактирования при исследовании процессов трения без формирования в зоне трения разделяющего смазочного слоя. Указанное достижение существенно расширяет область применения электрорезистивных методов в исследовательских и прикладных целях.

В прикладном аспекте разработанный метод трибомониторинга процессов ремонтного восстановления обладает меньшей трудоемкостью по сравнению с существующими, обеспечивает снижение затрат на технические средства и уменьшение требований к квалификации персонала, что делает его пригодным для широко внедрения в промышленность. Поскольку разработанный метод является методом функциональной диагностики, он позволяет осуществлять мониторинг процессов ремонтного восстановления без останковки узла трения в процессе его эксплуатации.

Разработанная методика мониторинга ремонтного восстановления поверхностей трибосопряжений пригодна для внедрения на производственных, ремонтных предприятиях машиностроительных, приборостроительных отраслей, на предприятиях, осуществляющих ремонт и техническое обслуживание автотранспортных средств. В частности, получила внедрение в МУП «Спецавтобаза» (г. Орел).

Полученные в диссертационной работе результаты использованы при выполнении различных НИР, в том числе ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (шифр проекта П289), гранта РФФИ и др.

### **Общие замечания по диссертационной работе**

Диссертация в целом выполнена на высоком уровне. В качестве замечаний следует отметить следующие вопросы.

1) Соискатель ограничивает применение разработанных теоретических положений по мониторингу процессов модифицирования рабочих поверхностей трения такой прикладной областью, как технологии ремонтного восстановления узлов трения. Абсолютно не рассматривается возможность применения разработанного метода для контроля или мониторинга финишной обработки ответственных узлов трения, которая может быть реализована с использованием рассматриваемых в работе восстановительных составов.

2) Применение таких методов исследования поверхностей трения, как сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, электросиловая микроскопия, магнитно-силовая микроскопия и др. невозможно для выбранных объектов без их разрушения, в связи с чем описание этих методов в диссертации представляется излишне объемным.

3) В работе соискатель отмечает, что «процесс модифицирования сопровождается заполнением фактической площади контакта слоями с большей адсорбционной способностью с образованием более устойчивых гра-



нических слоев, что также должно приводить к повышению сопротивления в зоне трения». Следовало привести ссылки на источники, авторы которых разделяют мнение о существенной электроизоляционной способности граничных слоев.

### **Заключение**

Диссертация «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 значимостью. Область исследования соответствует п. 1 и п. 6 (в части обработки информативных сигналов и представления результатов в приборах и средствах контроля) 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, широко обсуждались на конференциях и семинарах. Диссертация хорошо структурирована, изложена грамотно. По каждой главе имеются четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертация «Электрический метод трибомониторинга процессов ремонтного восстановления узлов трения (на примере подшипников)» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи создания диагностического обеспечения ремонтно-восстановительных технологий 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 ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры «Управление и контроль в технических системах» «18» марта 2015 года, протокол № 14

### **Сведения о лице, составившем отзыв:**

ФИО: Дорофеев Николай Викторович

Уч. степень и звание: к.т.н., доцент

Место работы и должность: зав. кафедрой «Управление и контроль в технических системах» МИ (филиала) ВлГУ

### **Контактные данные:**

Почтовый адрес: 602264, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, д. 23

Тел.: 8 (49234) 77-236

E-mail: [itpu@mivlgu.ru](mailto:itpu@mivlgu.ru)

**Личная подпись:**



Н.В. Дорофеев