

И.П. Кобыльсков, А.Ю. Сизов, Ю.А. Червоненко
ООО «НПК Русспромремонт»,
Санкт-Петербург, Россия, gpr-spb@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ (ПАТЕНТ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ №2266979) И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ

Аннотация

В работе рассмотрены основные результаты трибологических испытаний составов на основе минеральных композиций в парах трения из черных, цветных металлов и композиционных материалов. Представлены результаты испытаний и мониторинга многолетних практических работ с использованием ремонтно-восстановительных составов (РВС) в реальном секторе экономики России и за рубежом.

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные составы, металлокерамический защитный слой (МКЗС), «безызносность», безразборная технология, РВС-технология.

Введение

В сегодняшних реалиях актуальнейшей задачей является обеспечение работоспособности техники с оптимизацией затрат на ее эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

По мнению специалистов, основной причиной выхода из строя деталей машин и механизмов в эксплуатации является изнашиваемость поверхностей трения. Потери средств от трения и износа в развитых государствах достигают 4..5% национального дохода, а преодоление сопротивления трения поглощает во всем мире 20..25% вырабатываемой за год энергии [1].

Актуальность и большую значимость решения проблем в области повышения долговечности узлов трения машин и механизмов для народного хозяйства страны были определены Советом Министров СССР в Постановлении от 26 марта 1987 г. №359 «О мерах по широкому использованию в народном хозяйстве эффекта «безызносности» [2].

Инженеры Ленинградского института авиационного приборостроения, решая задачу повышения износостойкости пар трения, предложили использовать минеральные композиции.

Это направление исследований было поддержано председателем Ленинградского филиала Межведомственного научного совета по трибологии при АН СССР генеральным директором «Механобр» Ревнивцевым В.И., который организовал фундаментальные исследования возникновения противоизносных свойств минералов в процессе активации.

Заслуги учёных по борьбе с износом оценили в 1987 году: на ВДНХ – ЛИАП удостоили дипломом I степени, золотой медалью - Маринич Тайгету Леонидовну -

старшего научного сотрудника института, разработчика геоэнергетических технологий [3].

Таким образом, в ходе проведения фундаментальных исследований свойств минералов для решения триботехнических вопросов была доказана практическая значимость прикладных исследований предложенного направления реализации эффекта «безызносности».

Результаты и обсуждение

Результаты трибоиспытаний подтверждены практикой

PBC не являются присадками к смазочным материалам, т.к. не влияют на их физико-химические свойства [4, 5]. Объектом воздействия PBC являются поверхности трения, а результатом воздействия - модификация взаимодействующих поверхностей трения с образованием металлокерамического защитного слоя (МКЗС).

Образованный МКЗС является единым целым с подложкой на уровне кристаллических структур, улучшая трибологические характеристики начальных поверхностей трения и частично компенсируя произошедшие износы.

Свойства поверхностей с МКЗС: уменьшается шероховатость поверхностей; снижается интенсивность изнашивания; повышается сопротивляемость водородному изнашиванию; увеличивается микротвердость поверхностей; по мере износа возможно восстановление повторным применением PBC; улучшенная коррозионная стойкость из-за диэлектрических свойств МКЗС.

Влияние PBC на работу пар трения, обусловленное образованием МКЗС: из-за увеличения реального пятна контакта в паре трения снижаются удельные нагрузки на поверхности трения, что приводит к увеличению ресурса пары трения; снижение температур и количества продуктов износа поверхностей трения приводит к увеличению срока годности смазывающих материалов.

PBC улучшают условия работы пар трения, выполненных из черных и цветных металлов, их сплавов и композиционных материалов.

На рисунке 1 представлены результаты испытаний PBC в паре трения «сталь-сталь», проведенных в лаборатории «Детали машин» Забайкальского института железнодорожного транспорта. На рисунке приведена зависимость коэффициента трения от нагрузки в условиях масляного голодания, имитирующих работу пары трения «колесо-рельс». Испытания проводились на машине трения ДМ-29М, количество циклов нагружения 4×10^4 , образцами выступали: вкладыш подшипника – сталь 35 HRC30; вал – сталь 45 HRC52.

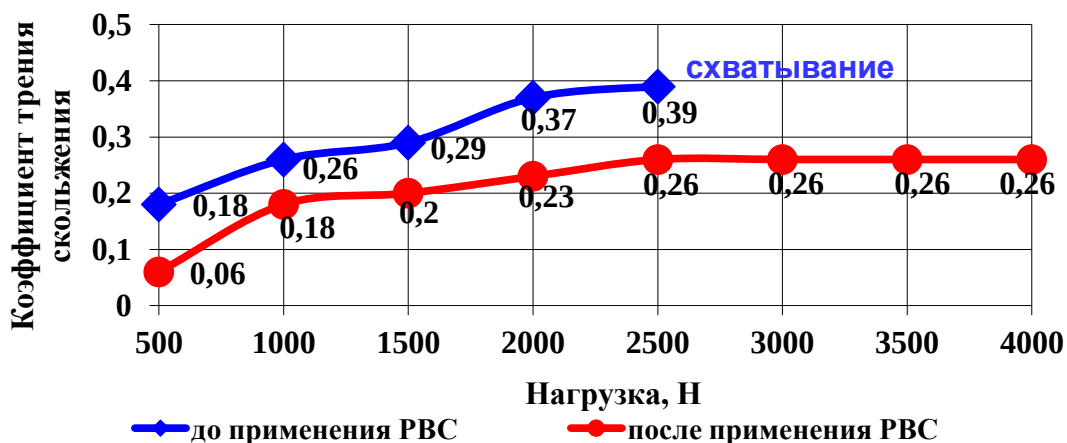


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента трения от нагрузки.

Результат испытаний: после применения РВС произошло снижение коэффициента трения в среднем на 66%, и схватывания образцов не произошло на нагрузке 4 000 Н, в отличие от необработанных образцов, у которых схватывание произошло на нагрузке около 3 000Н.

Положительные результаты лабораторных испытаний позволили организовать на базе Забайкальской железной дороги исследовательские работы в трибосистеме «колесо-рельс». Проведенные экспериментальные исследования и расчеты показали, что нанесение смазки Циатим-201 с РВС на боковую поверхность трения позволяет уменьшить боковой износ головки рельсов в кривых малых радиусов в 1,96-3,58 раза, износ острижков стрелочных переводов до 11-15 раз [6, 7].

Влияние РВС на износ образцов пар трения, выполненных из металлических материалов (сталь 40Х – чугун АЧС-3, бронза БрОЦУ-2 – сталь 40Х, чугун СЧ25 – чугун СЧ25), исследовалось в научно-исследовательском институте фундаментальных и прикладных исследований «Одесский национальный морской университет» на машинах трения АЕ-5 и 77МТ-1. В результате исследований установлено, что при идентичных параметрах испытаний износы образцов уменьшаются в 1,2-2 раза при добавлении в смазку РВС по сравнению с работой на смазке без РВС [8]. На основании полученных результатов разработаны рекомендации по применению РВС-технологии на морском и речном транспорте.

Результаты лабораторных испытаний влияния РВС на пары трения из разнородных металлов, проведенных в Харьковском Государственном автомобильно-дорожном техническом университете на усовершенствованной машине трения 2070 СМТ-1 [9], подтвердили улучшение противоизносных и антифрикционных свойств пары трения (Таблица 1). Применение РВС в базовых минеральных маслах (И-20, М10Г) снижает механические потери на трение от 10 до 21% [10].

Таблица 1 - Результаты испытаний пары трения «сталь 40Х – бронза Бр. С30».

Смазочный материал	Параметры			
	Скорость износа, мкм/ч	Коэффициент трения	Микротвердость стали, МПа	Микротвердость бронзы, МПа
И-20/	117	0,066	5720	2540
И-20+РВС	100	0,052	6420	2740
Улучшение свойств, %	14	21	11	7

Опытно-промышленные испытания РВС, проведенные в 2020 году на подшипниках скольжения насоса ПЭ 150-63 АО «Аппатит», подтвердили снижение шероховатости и увеличение твердости поверхностей шеек подшипников скольжения (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты контрольных измерений.

Параметр	Подшипник №3		Подшипник №4	
	вкладыш	шейка	вкладыш	шейка
Шероховатость, Ra, исх/ РВС	2,0/ 2,0	1,0/ 0,6	1,4/ 1,3	0,9/ 0,6
Изменения, %	0	40	7,1	33,3
Твердость, НВ, исх/ РВС	*	250,7/ 268,4	*	250,8/ 254,8
Изменения, %	-	7	-	2

* - твердость поверхностей вкладышей измерить невозможно, т.к. диапазон измерений прибора «NOVOTEST T-Y2» начинается на больших значениях.

В техническом отчете отмечено, что в результате применения РВС зафиксировано снижение среднесуточных значений температуры (на $2-3^{\circ}\text{C}$) и уменьшение амплитуды колебаний температуры (более 20%) подшипников насоса [11].

Влияние РВС на работу пар трения, выполненных из композиционных материалов, оценено в лаборатории водяных турбин Ленинградского металлического завода в 2009 году. Проведены испытания на интенсивность изнашивания втулок из подшипникового материала в условиях сухого трения при нагрузке 250 кг/см^2 . На рисунке 2 приведены результаты испытаний на 3-х втулочном стенде, имитирующем работу тяжело нагруженных низкоскоростных подшипников скольжения гидротурбин. На графике показана зависимость коэффициента трения исходного образца и образца с РВС. При испытаниях исходного образца зафиксировано: постоянный рост коэффициента трения, износ поверхности контртела и рост температуры. Испытания были остановлены, т.к. образец не соответствовал предъявленным требованиям. При испытаниях образца с РВС зафиксировано: снижение коэффициента трения и стабилизация на уровне значения 0,073. Испытания были остановлены после 356 часов работы стенда, т.к. образец с РВС выдержал предъявленные требования – 5000 метров пути трения [12].

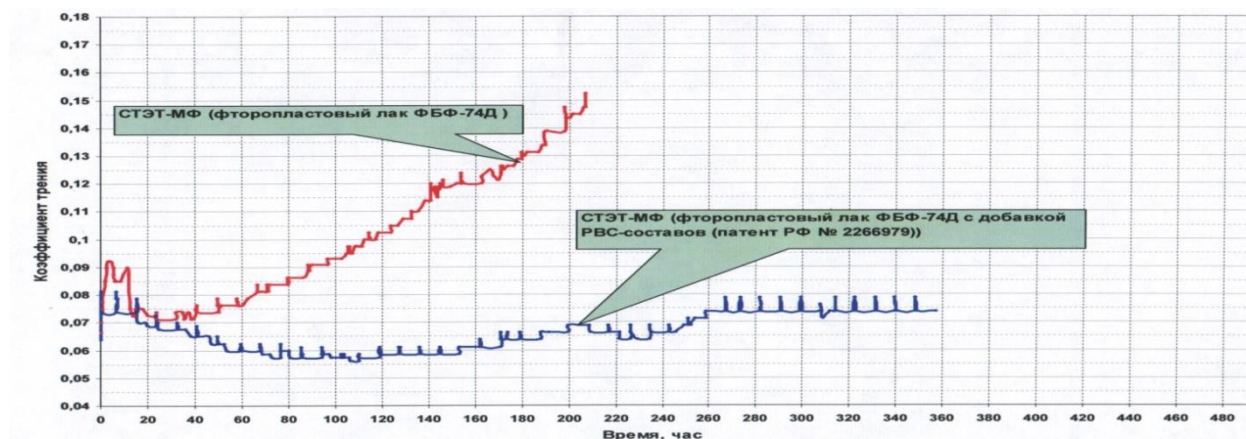


Рисунок 2. Испытания втулок $D=70\text{ мм}$ из материала СТЭТ-МФ.

Результаты положительных испытаний стали основанием проведения практических работ на гидравлической турбине мощностью 25 МВт производства «Ленинградский металлический завод» установленной в Армении на Канакерской ГЭС. Произведена обработка ремонтно-восстановительными составами бабитового подшипника, выполненного из материала Б83. В связи с ограниченным временем командировки время наработки гидротурбины составило 5 суток от момента применения РВС до снятия контрольных замеров, что недостаточно для полной приработки РВС. Зафиксированы промежуточные результаты: снижение вибрационных характеристик и снижение количества продуктов износа в масле [13].

В 2024 году были проведены испытания образцов из композиционных материалов нескольких производителей. Результаты коррелируют с результатами испытаний 2009 года: в результате применения РВС коэффициент трения снижался в 5-9 раз, температура контртела снижалась в 2 раза [14].

В результате проведенных лабораторных, стендовых и натурных испытаний и исследований была запатентована промышленная технология управления износом, получившая название «РВС-технология» по названию используемых минеральных композиций - ремонтно-восстановительных составов (РВС).

РВС-технология (патент РФ №2266979) – технология восстановления и улучшения характеристик машин и механизмов без вывода из эксплуатации с использованием РВС, реализующих эффекты восстановления и «безызносности» в парах трения.

Своевременное применение РВС позволяет поддерживать значения зазоров в парах трения работающих механизмов в допустимых диапазонах, обеспечивая нормальную эксплуатацию в необходимом временном интервале без аварийного износа.

Опыт применения РВС-технологии

Сотрудничество с Череповецким металлургическим комбинатом продолжается с 1998 года. Была обработана большая номенклатура разнообразного оборудования. Хотелось бы остановиться на одном эпизоде нашего сотрудничества – как применение РВС-технологии может стать альтернативой крупных инвестиционных затрат. При переходе комбината на производство новой продукции были превышены расчетные нагрузки на подшипники прокатной линии, как следствие, увеличилось количество брака, подшипники диаметром более 1 метра чаще стали выходить из строя, увеличилось количество простоев производственной линии. Был поднят вопрос о модернизации листопрокатного стана. Альтернативным решением было проведение НИОКР по увеличению стойкости подшипников жидкостного трения с использованием РВС. Результаты НИОКР: увеличение ресурса ПЖТ-1180 в 2 раза, что дало 10-кратный экономический эффект; снижение количества закупаемых подшипников и интеллектуальная собственность в виде патента [15].

Преимущества РВС-технологии были подтверждены на Светогорском целлюлозно-бумажном комбинате. Оборудование было обработано в 2002 году, а в 2004 году состояние оборудования, которое к этому времени наработало по 13,5-15 тысяч моточасов, проверила независимая сервисная компания [16]:

- проблемные механизмы безаварийно отработали до плановых сервисных мероприятий;
- снижение затрат на ремонт составило от 4 до 12 раз;
- окупаемость мероприятий по РВС-технологии произошла за 60-180 дней только за счет экономии электроэнергии на обработанном оборудовании.

Анализ работы технологического транспорта, обработанного по РВС-технологии, на золотодобывающем предприятии на Чукотке за 5-летний период эксплуатации зафиксировал 20-кратный экономический эффект только за счет увеличения ресурса работы двигателей без учета экономии горюче-смазочных материалов и сокращения других эксплуатационных расходов [17].

Значительный энергосберегающий эффект РВС-технологии обеспечил включение мероприятий по РВС-технологии как нетиповых мероприятий по энергосбережению в Программы энергосбережения со сроками окупаемости от 3 до 6 месяцев.

Согласно мероприятиям Программы энергосбережения ООО «НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз» в 2013 году были обработаны по РВС-технологии подшипниковые узлы электродвигателей. Мониторинг результатов обработки зафиксировал экономию потребления электроэнергии обработанными электродвигателями от 1,5 до 7,5%, что позволило получить предприятию окупаемость мероприятий за 6 месяцев [18]. Отдельным неоцененным бонусом предприятием получена более надежная работа подшипниковых узлов. Анализ

работы обработанных узлов, проведенный в 2020 году, показал, что средняя наработка до отказа подшипников, обработанных по РВС- технологии превышает 40 000 часов (до применения РВС средняя наработка до отказа составляла 12 000 часов) [19].

Многие актуальные вопросы импортозамещения могут успешно решаться с использованием РВС-технологии. Опыт работы с машиностроительными заводами показывает, что применение РВС-технологии способствует повышению конкурентоспособности российских предприятий и повышению качества выпускаемой ими продукции. В области смазывающих материалов накоплен опыт замены импортных продуктов на отечественные с РВС, улучшающих надежность и эксплуатационные характеристики машин и механизмов.

В 2019 году проведены работы по РВС-технологии на дизель-генераторной установке Caterpillar 3512B. Цель работы состояла в проверке возможности перехода с импортного масла Total Rubia TIR 6400 15w-40 на отечественное Rosneft Revolux D3 15w-40 и увеличение срока службы масла по браковочному показателю. После обработки двигатель улучшил свои эксплуатационные характеристики, что отражено в диагностических картах, а состояние масла оценивалось через интервалы 250 моточасов в аккредитованной лаборатории. Масло Rosneft Revolux D3 15w-40 оказалось годным к дальнейшей эксплуатации при наработке 1 000 моточасов, а масло Total Rubia TIR 6400 15w-40 требовало замены на наработке 250 моточасов [20].

В настоящее время предприятиям промышленности, энергетики и транспорта предлагается использовать апробированные решения на основе РВС-технологии как в виде надежно-ориентированных сервисных услуг, так и в виде смазок, лаков, индивидуальных комплектов для обработки оборудования.

Заключение

Представленная в данной работе РВС-технология, соответствующая критериям наилучших доступных технологий [21], может быть использована для успешного решения целого ряда задач в достижении целей устойчивого развития [22] предприятий промышленности, энергетики и транспорта.

Использование оригинальной продукции, защищенной патентом РФ на изобретение №2266979, гарантирует получение положительных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.; ил.
2. Постановление Совета Министров СССР от 26 марта 1987 г. № 359 «О мерах по широкому использованию в народном хозяйстве эффекта «безызносности».
3. Отчет о НИР «Изыскание возможностей использования в триботехнике руд, горных пород и минералов из отвалов месторождения с целью уменьшения износа машин и механизмов и экономии металлов», МНТК «Механобр», 1988. – 63 с.; ил.
4. Заключение о проверке эффективности РВС-технологии. Забайкальская железная дорога, 21.05.2001 г.
5. Письмо ОАО «Пермский завод смазок и СОЖ» №25/04-2012 от 01.10.2012 г.
6. Отчет о НИР «Исследование и разработка технологий модификации пар трения в трибосистеме «рельс-колесо» с применением ремонтно-восстановительных составов», Забайкальская железная дорога, НТО «НВЦ», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 2002-2004 гг.

7. Отчет о НИР «Исследование влияния смазок, содержащих минеральные добавки, на скорость износа рельсов на перегонах и станциях», Забайкальская железная дорога, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 2003 г.
8. Отчет о научно-исследовательской работе «Определение эффективности РВС-технологии ЗАО НПО «Руспромремонт» (Санкт-Петербург, Россия) ОНМУ НИИ фундаментальных и прикладных исследований, Одесса, 2003. – 30 с.; ил.
9. Войтов В.А., Баздеркин В.А. Универсальная машина трения. – Трение и износ, 1993, т.13, №3, с.501-506.
10. Отчет о НИР «Испытания противоизносных присадок к смазочным маслам», Украина, ХГАДТУ, 1998.
11. Технический отчет «О проведении испытаний подшипников скольжения насоса ПЭ 150-63 с модифицированными рабочими поверхностями (РВС-технология патент РФ №2266979 и материалов РВС», г.Череповец, АО «Апатит», 2020.
12. Акт о предварительных испытаниях влияния составов, изготовленных по РВС-технологии (патент РФ №2266979) ЗАО «НПК Русспромремонт», примененных в приработочном покрытии при испытаниях подшипникового материала СТЭТ-МФ на втулочном стенде ЛВТ филиала ОАО Силовые машины «ЛМЗ» в СПб, 2009 г.
13. Отчет о проведении обработки по РВС-технологии агрегата (турбины) №6 Канакерской ГЭС ЗАО «Международная энергетическая корпорация», РусГидро, Армения, 2017 г.
14. Технический отчет № 51402/06-2024-03 «Результаты испытаний ремонтно-восстановительного покрытия (РВС) фирмы ООО «НПК Русспромремонт» (патент РФ №2266979) в процессе приработки антифрикционных материалов, используемых в уплотнениях валов и турбинных подшипниках». АО «Силовые машины – ЗТЛ, ЛМЗ, Электросила, Энергомашэкспорт», Санкт-Петербург, 2024.
15. Патент РФ на изобретение №2327908 «Способ подготовки к эксплуатации подшипников жидкостного трения», ОАО «Северсталь», приоритет 23 мая 2006 г.
16. Отчет о результатах ресурсных испытаний РВС-технологии на IP ОАО «Светогорск», 2004.
17. Анализ результатов применения ремонтно-восстановительных составов (патент РФ №2266979) на технике золотодобывающего рудника «Купол», 2020.
18. Технический отчет по результатам применения РВС-технологии на подшипниках электродвигателей в рамках программы энергосбережения ООО «НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз», г.Новый Уренгой, 2013.
19. Отзыв о продукции. Письмо ООО «НОВАТЭК-Юрхаровнефтегаз» №5153-03,3 от 31.07.2020 г.
20. Технический отчет по РВС-обработке двигателя Caterpillar 3512В дизель-генераторной установки №2 на скважине №443 Бузулукского месторождения, 2019.
21. Постановление Правительства РФ от 23.12.2014 №1458 (ред. от 03.03.2021).
22. Декларация «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». Резолюция ГА ООН 25.09.2015 г.

I.P. Kobylskov, A.Y. Sizov, Y.A. Chervonenko
«NPC Ruspromremont» CO, Ltd, Saint Petersburg, Russia, rpr-spb@mail.ru

**THE TRIBOLOGICAL TESTING RESULTS OF REPAIR-RESTORATION
COMPOUNDS TESTING (RF patent №2266979) AND EXPERIENCE OF THEIR
APPLICATION IN INDUSTRY, ENERGETICS AND TRANSPORT**

Abstract

In this article, the basic results are discussed regarding tribological testing of the compounds on the basis of mineralogical compositions applied to the friction pairs made of ferrous

and non-ferrous metal, composed materials. The given material is the monitoring of the results of long-term practical application of repair-restoration compounds (RRC) in various branches of industries in Russian Federation and overseas.

Keywords: repair-restoration compounds, metal-ceramic protective coating, «wear-proof», non- dismantle, RRC-technology.