

7. Maxwell, J.C. On the theory of compound colours and the relations of the colours of the spectrum / J.C. Maxwell // Proceedings of the Royal Society of London, Philosophical Transactions of the Royal Society (London). – 1860. – January 1. – P. 58- 84.

8. CIE. Colour-matching functions of the CIE 1931 standard colorimetric observer: Data set. – Vienna: Commission Internationale de l'Éclairage, 2019. – DOI: 10.25039/CIE.DS.xvudnb9b.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 01.06.2026

УДК 621.43:621.892

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2026-175-3-32-39>

АНАЛИЗ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ ПО КОМПОНЕНТНОМУ НАПОЛНЕНИЮ, ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТРУЩИМИСЯ ПОВЕРХНОСТЯМИ И МЕХАНИЗМУ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В.Е. Тарасенко,

зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент,

Ю.Н. Боженков,

инженер-исследователь ООО «Дельта Машинери»,

А.Н. Монтик,

магистрант каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ,

П.А. Гаврукович,

магистрант каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ

В статье представлены результаты анализа ремонтно-восстановительных составов (РВС) различного происхождения для использования в автотракторных двигателях. Определены триботехнические признаки и технические характеристики, разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. Предложена классификация ремонтно-восстановительных составов по компонентному наполнению, которая включает группу эффективных комплексных трибосоставов. Рассмотрены версии работы ремонтно-восстановительных составов и определены основные факторы процессов образования защитных покрытий на деталях ДВС. Выполнены начальные этапы экспериментальной проверки эффективности минерального состава при эксплуатации двигателей Д-260.2 тракторов «Беларус-1221В.2».

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные составы, двигатель, износ, поверхность, трение, признак, пленка.

The article presents the results of an analysis of repair and restoration compounds of various origins for use in automotive and tractor engines. Tribotechnical features and technical characteristics that functionally differentiate between RBCs and motor oil additives are determined. A classification of repair and restoration compounds by component composition is proposed, which includes a group of effective complex tribocompounds. The performance of repair and restoration compounds is examined, and the main factors in the formation of protective coatings on internal combustion engine components are identified. The initial stages of an experimental test of the effectiveness of the mineral composition in the operation of D-260.2 engines of Belarus-1221V.2 tractors have been completed.

Keywords: repair and restoration compounds, engine, wear, surface, friction, sign, film.

Введение

Анализ современного состояния технического сервиса автотракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как в Республике Беларусь, так и других странах мира свидетельствует о том [1-5], что существующие сложившиеся на предприятиях технологии технического сервиса ДВС не в полной мере отвечают современным требованиям, предъявляемым к ре-

сурсным показателям двигателей. В настоящее время необходимым является использование новых высокоэффективных технологий достижения высоких показателей эксплуатационной надежности и ресурса. Одной из них, наиболее простой, доступной для предприятий, эксплуатирующих мобильные машины с ДВС, и в то же время выгодной с экономической точки зрения является технология «безразборного ремонта» [1, 2; 6-7]. Сущность данной технологии

заключается в том, что при введении специальных ремонтно-восстановительных составов различного происхождения в масло достигается уменьшение скорости изнашивания ресурсных деталей механизмов. При этом, что особо значимо, на рабочих поверхностях деталей происходит образование слоев с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения. Таким образом, с помощью данной технологии можно обеспечить безызносную эксплуатацию ДВС.

Предшественником данного эффективного направления явились твердые смазки, твердые смазочные материалы и твердосмазочные покрытия [2; 12]. Обработка узлов и агрегатов РВС приводит к образованию на поверхностях трения антифрикционного покрытия, толщина которого в процессе эксплуатации находится в пределах от долей мкм до сотни мкм (отмечаются подтвержденные факты наращивания покрытия до 0,6–1,0 мм, а наноалмазными РВС – до 0,32 мм) [2]. С учетом того, что значительная доля неисправностей ДВС обусловлена именно небольшими износами сопряжений (0,1–0,3 мм), то достигаемое частичное их восстановление правильно выбранными РВС даже на 0,02 мм весьма целесообразно, технически и экономически оправданно. При этом с реализацией маслофильности антифрикционного покрытия значительно улучшается работоспособность обработанных агрегатов. Накопленный опыт и практика «безразборного ремонта» свидетельствуют о том, что обработка неаварийных узлов и агрегатов ДВС, особенно не имеющих предельного износа, является оправданной альтернативой текущему и капитальному их ремонту как в доремонтный, так и послеремонтный период эксплуатации. Современное материаловедение располагает эффективными методами и технологиями выполнения безремонтных способов восстановления работоспособности наиболее ответственных изношенных деталей, которые позволяют обходиться без громоздкого технологического оборудования с соответствующим штатом обслуживающего персонала. При этом результаты многих исследователей говорят о том, что доремонтный ресурс ДВС при своевременном применении РВС продлевается на 1–3 года и может достигать 5 лет, а затраты на ремонтные воздействия значительно уменьшаются.

Безразборный рассматриваемый метод ремонта повышает технические характеристики ДВС, а в ряде случаев, результаты которых соответствуют капитальному ремонту, что пояснить полностью достаточно сложно, достигаются номинальные значения. При этом отсутствует обязательная для этих видов ремонта разборка двигателя, дефектация и замена изношенных деталей.

В настоящее время потребителям для проведения «безразборного ремонта» узлов трения предлагается большой ассортимент РВС (более 200 марок), произведенных в США, Японии, Финляндии, Германии, Российской Федерации, Китае и др. (VICCO, REWITEC, ТРИГГЕР, Forsan Nanoceramic, Motor doctor и др.). Однако потребителям сложно разоб-

данных составов. Информация о РВС, как правило, представлена преимущественно рекламными проспектами фирм-производителей составов различного назначения. Следует знать, что порой она некорректна, а в отдельных случаях не подтверждается практикой. Поэтому недостаток объективной информации, недоверие ко всему новому, наличие низкосортных составов в совокупности тормозят применение данного метода увеличения ресурсных показателей ДВС.

Теоретические и экспериментальные исследования физико-химических процессов взаимодействия РВС с трущимися поверхностями, механизмов функционирования, процессов восстановления изношенных деталей под действием РВС освещены в работах Маринича Т.Л., Телуха Д.М., Ольховацкого А.К., Острикова В.В., Ревнищева В.И., Зуева В.В., Сафонова В.В., Подчуфарова С.Н., Пригожина И.Р., Балабанова В.И., Крагельского Д.Н., Бабеля В.Г., Белого И.Ф., Германа А.Ю., Ладикова В.В., Лазарева С.Ю., Любимова Д.Н., Новикова В.И., Пустового И.Ф., Рыжова В.Г., Шабанова А.Ю. и других.

Целью настоящей работы является обобщение данных о существующих ремонтно-восстановительных составах, их разграничение и систематизация по компонентному наполнению, физико-химическим процессам взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий, а также выполнение предварительных этапов проверки эффективности использования в тракторных дизелях минерального состава.

Основная часть

Многочисленные РВС значительно отличаются по стоимости, способны создавать покрытия разной природы и размеров, с обеспечением различной долговечности. Различают составы органической и неорганической природы, которые нежелательны к применению по причине формирования малой толщины и малой стойкости создаваемых пленок на поверхностях трения, срыву и забиванию ими маслосканалов систем ДВС. Подобные РВС дают побочные негативные эффекты из-за образования ими в двигателях вредных веществ и отложений. По этой причине они ограничены к применению в Европе и США [1, 2]. Очевидным является то, что существует явная необходимость в разработке концепции использования в ДВС экологически чистых, недорогих, эффективно модифицирующих поверхности трения или интенсивно наращивающих заметные покрытия в короткий период работы, сопряжений РВС различного происхождения для увеличения ресурсных показателей ДВС, увеличения эксплуатационной надежности при безызносной эксплуатации.

В рамках выполнения НИР «Исследование трибологических параметров ремонтно-восстановительных составов и закономерностей изнашивания деталей двигателей внутреннего сгорания» (научный проект БРФФИ–МФНТ) выполнен анализ РВС по компонентному наполнению, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями и механизму функционирования.

РВС, являясь, как правило, инертными веществами, практически не взаимодействуют с маслами и смазками, вследствие чего почти не изменяют их свойства. Масла или другие технические жидкости являются для составов лишь средством их доставки к месту фрикционного контакта [8]. Наиболее характерное отличие РВС от присадок заключается в том, что последние работают со смазочными маслами, улучшая их рабочие свойства, а РВС взаимодействуют непосредственно с поверхностями деталей, модифицируя их или покрывая защитной пленкой. Так, минеральные и трибополимеробразующие составы проявляют свое действие только в процессе трения сопряжений, при соответствующих нагрузках и температуре, в течение определенного времени. Присадки же, для сравнения, улучшают свойства масел сразу непосредственно в процессе их производства.

В результате проведенного анализа установлены триботехнические признаки и технические характеристики РВС и присадок к моторным маслам (блок-схема представлена на рисунке 1), разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. По ряду из них, таких как наращивание восстановительного слоя и оптимизация зазоров в сопряжениях, выравнивание микрорельефа поверхностей трения, особо значимых при обеспечении ресурсных показателей автотракторных двигателей, при введении значительно меньшей концентрации (0,01-0,4%) отмечается работа только РВС. Присадки к моторным маслам подобные функции выполнять не могут. При этом в разрезе обеспечения рабочих свойств смазочных масел выделяются присадки к моторным маслам, которые способны поддерживать гораздо больший перечень функциональных возможностей масла (антиокислительные, антикоррозионные, противопенные и др.). РВС (в сравнении), работая при гораздо больших температурах в зоне контакта деталей (до 1200°C) и поддерживая необходимый перечень свойств длительный период времени (до трех-пяти сроков смены масла), гарантированно способны обеспечивать лишь параметры маслянистости – антифрикционные, противоизносные и противозадирные. Сильными составляющими РВС также являются: обеспечение защиты сопряжений трения при потере смазочной среды как таковой и работа в целом без масла, обеспечение коррозионной стойкости металла при значительной длительности действия.

Исследованиями в данной области установлены определенные технологические режимы применения РВС с целью максимально возможного восстановления изношенных поверхностей трения. Так, в диссертации Попова С.Ю. [17] для изменения параметров (интенсификации) процесса восстановления рабочих, наиболее ответственных поверхностей трения установлена необходимость реализации кавитационных процессов при дросселировании смеси масла с РВС и разбавление самих РВС. В работе [23] автор после ряда опытов с составом «RVS-technology» на установке, позволяющей имитировать режим трения, близкий к режиму трения поршневое кольцо – ци-

линдр и получения данных о скорости изнашивания образцов, делает вывод о предпочтительности и перспективности использования металлокерамических РВС. В работе [23] также говорится о целесообразности и эффективности применения РВС для двигателей, имеющих определенную наработку и заметные признаки износа рабочих поверхностей, при обкатке ДВС при их ремонте с целью качественной приработки составляющих деталей ЦПГ.

Ломухиным В.Б. [24] внесены значимые результаты в область исследования РВС, предложены теоретические подходы при выборе РВС в зависимости от текущего технического состояния ДВС и дополнительные диагностические параметры, установлены особенности механизма действия, весомые преимущества и недостатки различных составов.

Из анализа множественных источников информации [1-23] можно заключить, что при условии рационального и своевременного применения РВС достигается снижение трения и скорости изнашивания наиболее ответственных рабочих поверхностей автотракторных двигателей, удастся устранить последствия эксплуатационного износа поверхностей трения, который в свою очередь вносит индивидуальные отличия в работу каждого узла трения двигателя.

В рамках выполнения настоящих исследований выполнена классификация и систематизация РВС по компонентному наполнению, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий. На рисунке 2 представлена блок-схема, согласно которой все эффективные РВС в зависимости от наполнения, физико-химических трибопроцессов и свойств образуемых покрытий соотнесены к восьми основным группам. Актуализация классификации РВС позволила выявить наличие новой группы комплексных трибосоставов, к которой относятся составы с высокодисперсной керамикой, трибопродукты на основе серпентинов и органических добавок, а также многокомпонентные составы.

Среди комплексных составов следует выделить достаточно эффективный трибосостав на основе серпентинов и органических добавок – антифрикционную ресурсо-восстанавливающую композицию (АРВК) с трибополимеробразующим составом ЭФ-357, где изначально срабатывает органическая компонента и обеспечивает образование защитной полимерной пленки, а позднее – серпентиновая и образуется (предварительно) органоминеральное покрытие. Значимые факты подтверждения эффективности композиции АРВК в работе установлены государственными испытаниями, в том числе машиноиспытательными станциями.

В результате триботехнических сравнительных испытаний целого ряда геомодификаторов, реметаллизантов и комплексного состава установлена высокая эффективность именно металлоорганического состава «Renom Engine» [16]. Использование данного состава обеспечивает максимально высокие антиизносные свойства по сравнению с другими рассматриваемыми составами и позволяет снизить износ рабо-

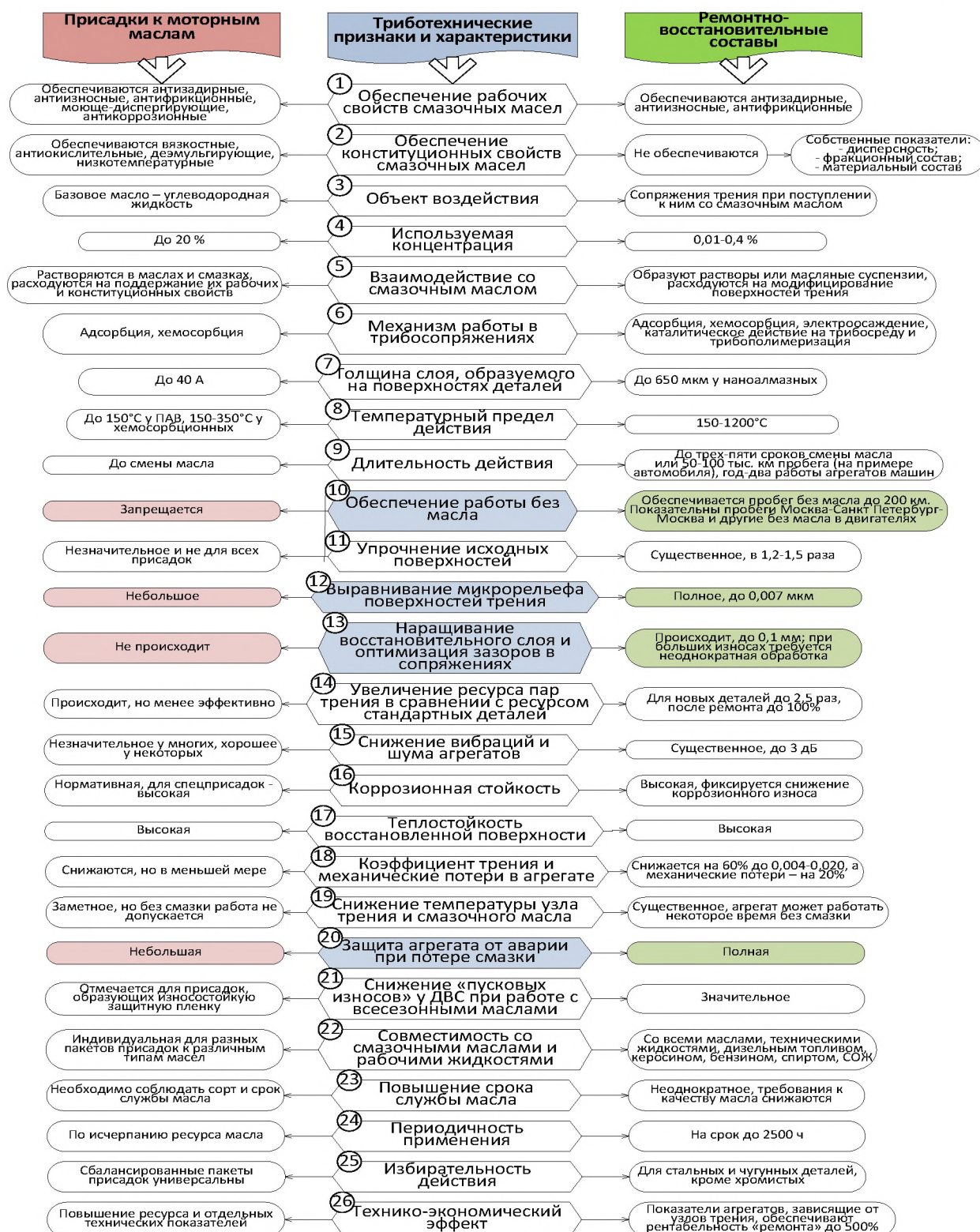


Рисунок 1. Триботехнические признаки и технические характеристики ремонтно-восстановительных составов и присадок к моторным маслам

чих поверхностей двигателя по сравнению с базовым маслом более чем в 8 раз.

Анализ физико-химических процессов взаимодействия РВС с трущимися поверхностями, свойств

получаемых покрытий и механизмов функционирования позволил установить, что основными факторами являются: давление и температура в локальной точке трибоконтакта, размол частиц с их абразивным

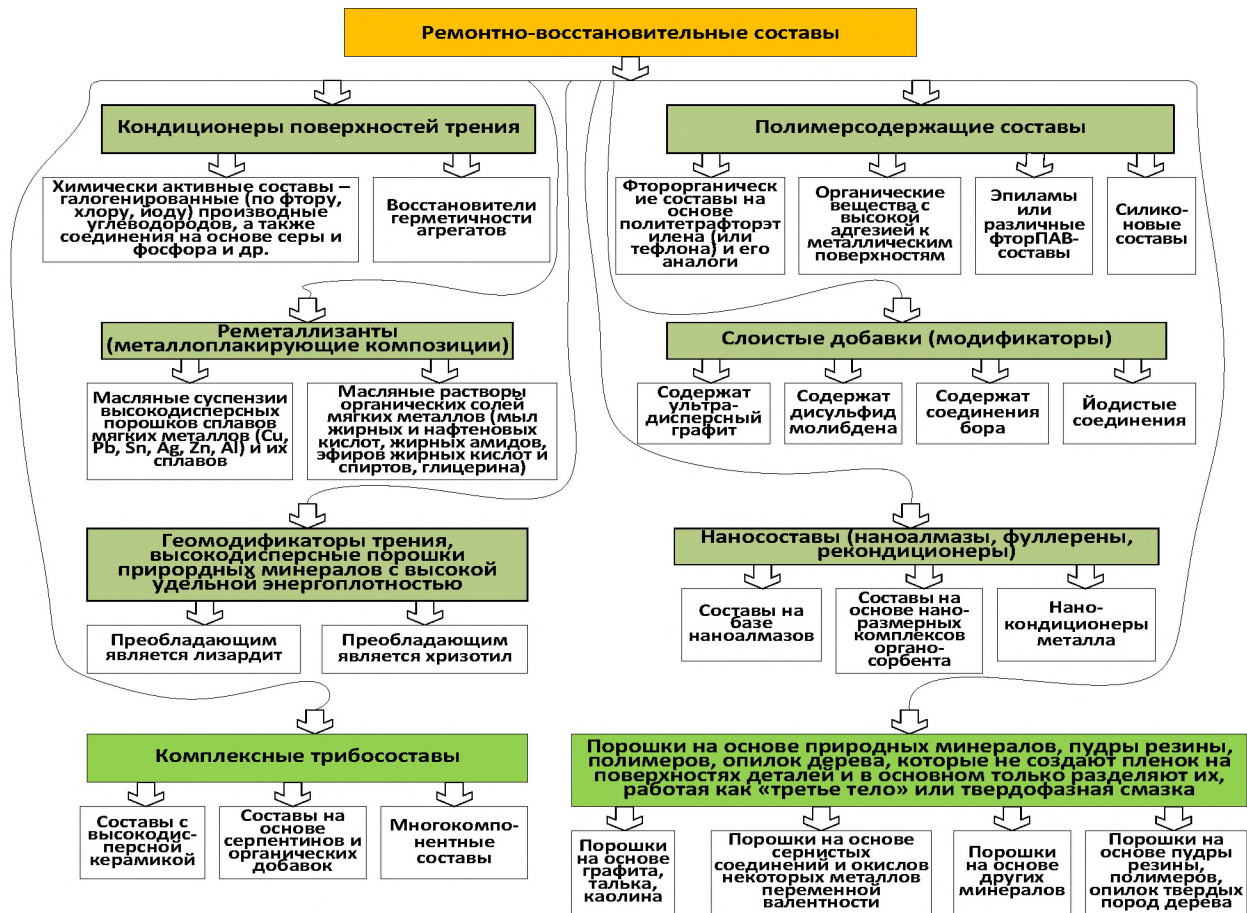


Рисунок 2. Блок-схема классификации РВС в зависимости от наполнения, физико-химических трибопроцессов и свойств образуемых покрытий

действием на микронеровности и окисные пленки, наличие в трибосреде продуктов окисления органической смазки, диффузия в поверхностях трения одних компонентов, хемосорбция других, поли- и трибоконденсация с адгезией на поверхностях трения третьих компонентов фрикционной среды. Можно выделить следующие версии работы РВС:

Физическая адгезия (силы Ван-дер-Ваальса) соотносятся составы на основе политетрафторэтилена, графита, дисульфида молибдена;

Хемосорбция. Составы MICRO-X3, соли фторсульфокислот, галогенированные масла (Феном, SMT, SMT-2, ER и др.);

Трибополимеризация: АРВК (Э-357), АРВО, минеральные масла + радикалы;

Электрохимическое осаждение: относятся суспензии порошков и соли жирных кислот мягких металлов;

Катализ с участием трибоплазмы: серпентины, гидросиликаты щелочных металлов;

Диффузия и ионообменные реакции: Наноалмазные трибосоставы КАРАТ-М, КАРАТ-5;

Без взаимодействия (инертное третье тело).

Процессы взаимодействия поверхностей трения двигателя и трибосреды в совокупности включают в себя разнообразие механического контактирования,

электрических и химических явлений, сложных диффузионных и термических процессов. Наличие РВС в зоне контакта меняет набор и порядок проявления перечисленных выше процессов, изменяющихся при изменении нагрузочно-скоростных и температурных режимов трения, физико-механических и других триботехнических характеристик среды, порой неизвестных и меняющихся в процессе трения.

Следует отметить, что в разрезе минеральных трибосоставов и реметаллизантов отмечается критическая концентрация соединений и временные ограничения на проведение первичной обработки [8]. Так, превышение концентрации соединений, обладающих восстановительной способностью, из-за быстрого восстановления оксидных пленок в зоне трения приводит к намазыванию. Из работ А.Ю. Шабанова [6], С.Н. Подчуфарова [8] следует, что новообразованному и непрочному РВС-слою необходимо время для упрочнения водородом из смазки и водородом из металла детали для схватывания пленки с поверхностью трения. Для этого, после непродолжительной обработки двигателя, его следует остановить на сутки в холодное время и на двое суток в теплое время.

Выполненный в рамках данной работы анализ позволяет также сделать заключение о том, что наряду с высокой эффективностью использования РВС в

автотракторных двигателях, остается множество нерешенных вопросов в их применении. Так, перед использованием РВС обязательно необходимо выполнить этапы квалифицированного инструментального технического диагностирования ДВС с оценкой состояния ЦПГ и моторного масла, результаты которого должны указывать на достаточно высокую степень износа (не менее 50 %) рабочих поверхностей деталей. В случаях, когда качество моторного масла не соответствует эксплуатационным требованиям, а также при фиксации отказов деталей узлов и механизмов двигателя, подлежащих обработке, процедуру восстановительной обработки РВС проводить не следует.

Осуществлены предварительные этапы эксплуатационной проверки эффективности использования РВС на минеральной основе. Применение состава БелГео при испытаниях на тракторах «Беларус-1221В.2» с наработкой в обоих случаях свыше 7500 ч, эксплуатируемых в сервисном центре ОАО «МТЗ» и ОАО «Любанский райагросервис» [25], оказало положительное влияние на ряд параметров работы двигателей (табл. 1). При первом же контрольном измерении

(при достижении наработки 100 ч) зафиксировано повышение компрессии в цилиндрах двигателей рассматриваемых тракторов (рис. 3, 4), уменьшение шумности работы двигателей и повышение приемистости (по утверждению закрепленных механизаторов). При этом на двигателе Д-260.2 (№139795) трактора из ОАО «Любанский райагросервис» резко уменьшился расход масла на угар.

Дополнительно проводилось измерение расхода (прорыва) газов из картера и дымности отработавших газов. Однако на начальном этапе работы РВС существенных результатов данный контроль не показал. Эти операции следует выполнить после достижения наработки двигателями рассматриваемых тракторов не ранее чем через 250 ч работы. По результатам измерений параметров работы двигателей составлены соответствующие акты.

Улучшение работы двигателей по перечисленным выше параметрам следует увязать со свершившейся качественной приработкой в первые часы работы после ввода РВС в двигатели и активным протеканием процесса очистки деталей от нагара, оксидов

Таблица 1. Изменение компрессии в двигателях тракторов «Беларус»

Этапы проверки/модель трактора	Компрессия в цилиндрах, кгс/см ²					
	1	2	3	4	5	6
Трактор «Беларус-1221В.2» №12042546 с дизелем Д-260.2 (серийный идентификационный №140597) на базе сервисного центра ОАО «МТЗ»						
Исходная	29	28	28,5	20	28	30
После обработки	31,5	32,5	32,5	27,9	31	32
Трактор «Беларус-1221В.2» №12042261 с дизелем Д-260.2 (серийный идентификационный №139795) на базе ОАО «Любанский райагросервис»						
Исходная	29,5	29	29,5	29	29,5	30,5
После обработки	31,5	32,5	32,5	31,5	31,5	32,5

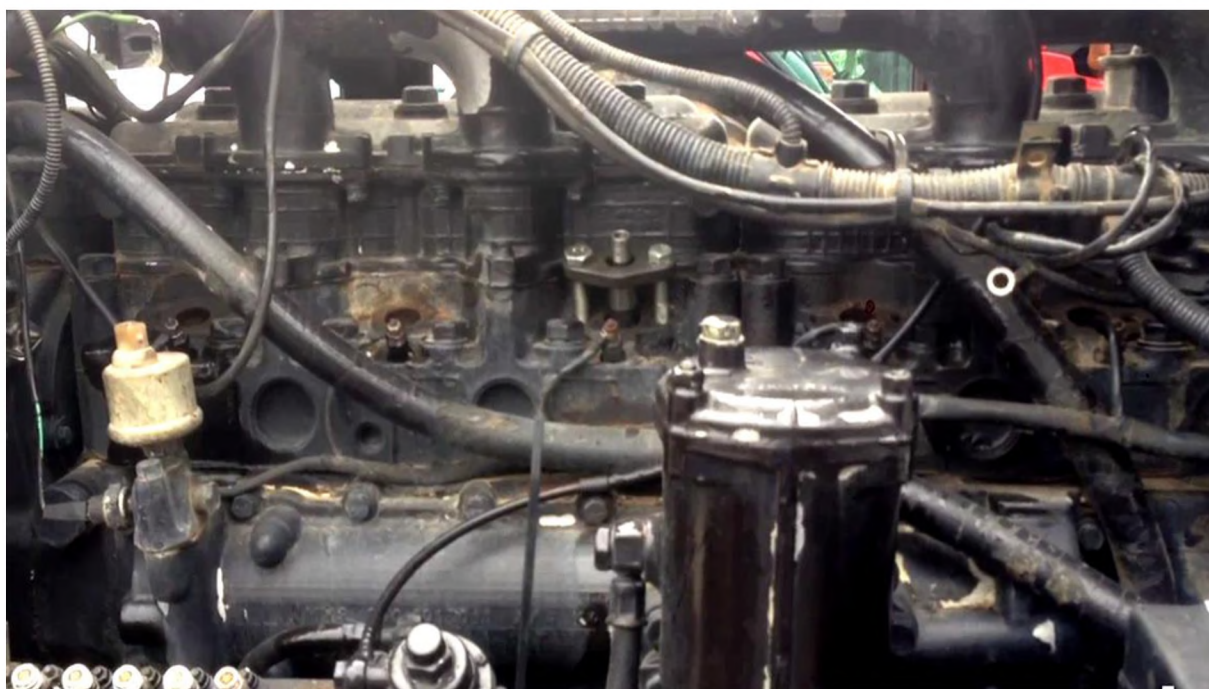


Рисунок 3. Вид двигателя Д-260.2 со стороны расположения ТНВД со снятыми форсунками и трубками высокого давления



Рисунок 4. Измерение компрессии в цилиндрах дизеля Д-260.2 с помощью электронного индикатора (компрессометра) W800/500

и отложений. В результате очистки деталей прежде всего улучшилось уплотнение подвижного соединения поршень – цилиндр, так как образовались условия беспрепятственного перемещения колец в канавках поршней, а также в связи с этим произошло повышение компрессии, что положительно повлияло на другие показатели работы двигателей.

Заключение

Многочисленные и длительные испытания различной формы на самых разнообразных ДВС и многих других узлах и агрегатах, проведенные в Финляндии, Японии, Китае, Российской Федерации, Украине, Республике Беларусь и в других странах Европы, Азии, Африки, США убедительно показали, что РВС в целом способствуют заметному улучшению показателей ДВС по мощности, расходу топлива и масла с обеспечением заданного эксплуатационного ресурса.

В результате анализа компонентного наполнения ремонтно-восстановительных составов, физико-химических процессов их взаимодействия с трущимися поверхностями, а также механизма функционирования установлены триботехнические признаки и технические характеристики, разграничивающие функционально РВС и присадки к моторным маслам. Предложена классификация РВС по компонентному наполнению, включающая группу перспективных комплексных трибосоставов. Рассмотрены версии работы трибосоставов и определены основные факторы процессов образования защитных покрытий на деталях ДВС.

Выполнены этапы эксплуатационной проверки эффективности использования состава на минеральной основе, которые подтвердили улучшение технических характеристик двигателей применением технологии безразборного ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миклуш, В.П. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В.П. Миклуш, А.В. Дунаев, В.Е. Тарасенко [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – 392 с.
2. Дунаев, А.В. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития / А.В. Дунаев, Е.М. Филиппова; под ред. С.Н. Шарифуллина. – М.: ФНАЦ ВИМ, 2017. – 252 с.
3. Mihov, M. Optimization of the frequency of the technical service of machines with reliance of reliability / M. Mihov. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – 2018, vol. 64. – P. 200-202.
4. Krishnan, A. SIMULATION OF AN ENGINE FRICTION STRIP TEST. Master's Thesis in Automotive Engineering / Department of Applied Mechanics Division of Combustion CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. – Göteborg, Sweden, 2014. – 73 p.
5. Y., Hu. A two-stage dynamic capacity planning approach for agricultural machinery maintenance service with demand uncertainty / Hu Y., Liu Y., Wang Z. [et al.] // Biosys. Eng. – 2020. – P. 201-217.
6. Шабанов, А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность? А.Ю. Шабанов. – СПб.: Иван Федоров, 2004. – 216 с.
7. Балабанов, В.И. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление) / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, А.Г. Гамидов [и др.]. – М.: Известия, 2007. – 272 с.
8. Дунаев, А.В. Эффективность применения минеральных модификаторов при техническом сервисе в АПК: научное издание / А.В. Дунаев, В.В. Ладиков, И.Ф. Пустовой [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформатпротек», 2014. – 164 с.
9. Yuansheng, J. and Shenghua, L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ / Superlubricity. Edited by Ali Erdemir Argonne National Laboratory. – Argonne, USA and Jean-Michel Martin Ecole Centrale de Lyon/. – Lyon, France: Elsevier B.V. – 2007. – P. 445-469.
10. M. Hatami, M. Hasanpour and D. Jing. Recent developments of nanoparticles additives to combustible liquids in internal combustion engines: Part II: Nanolubricants // Journal of Molecular Liquids. – 2020, vol. 319, Dec 01. – P. 114-156.
11. N.A. Ismail, N.W.M. Zulkifli, Z.Z. Chowdhury and M.R. Johan. Functionalization of graphene-based materials: Effective approach for enhancement of tribological performance as lubricant additives // Diamond and Related Materials. – 2021, vol. 115, May. – P. 108-357.
12. S. Mazumder, H.S.C. Metselaar, N.L. Sukiman and N.W.M. Zulkifli. An overview of fluoride-based sol-

id lubricants in sliding contacts // Journal of the European Ceramic Society. – 2020, vol. 40. – P. 4974-4996.

13. K. Fukuzawa, Y. Sasao, K. Namba, C. Yamashita, S. Itoh and H. Zhang. Measurement of nanometer-thick lubricating films using ellipsometric microscopy // Tribology International. – 2018, vol. 122 (Jun.). – P. 8-14.

14. A. Chouhan, T.K. Sarkar, S. Kumari, K.L.N. Sivakumar, H. Sugimura and O.P. Khatri. Mechano-adaptive thin film of graphene-based polymeric nanocomposite for enhancement of lubrication properties // Applied Surface Science. – 2021, vol. 538.

15. N. Thachnatharen, M. Khalid, A. Arulraj and N. Sridewi. Tribological performance of hexagonal boron nitride (hBN) as nano-additives in military grade diesel engine oil // Materials Today: Proceedings. – 2021.

16. Балабанов, В.И. Исследование ремонтно-восстановительных составов для автотракторной техники / В.И. Балабанов, Ю.В. Бойков, Т.В. Балабанова // Вестник ФГОУВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина». – Москва, 2016. – № 3. – С. 45-52.

17. Попов, С.Ю. Повышение эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительных составов при их использовании в двигателях тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Попов С.Ю.; ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве». – Мичуринск-наукоград, 2014. – 22 с.

18. Татаринцев, В.В. Трибохимическое снижение водородного изнашивания контактирующих поверхностей узлов и деталей машин при их относительном перемещении. Резюме проекта / В.В. Татаринцев. – Сколково, 2022. – 48 с.

19. Миклуш, В.П. Обоснование применения минеральных трибосоставов для проведения безразборного ремонта / В.П. Миклуш, В.Е. Тарасенко, А.В. Дунаев // Технічний сервіс агропромислового,

лісового та транспортного комплексів. – Харків, 2017. – № 7. – С. 43-51.

20. НП ЗАО «СИНТА». Производство наноалмазов, нанокремниевых и наноалмазных добавок. – URL: <https://sinta.biz> (дата обращения: 16.05.2026).

21. Соловьев, Р.Ю. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безыносной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Технологические рекомендации / Р.Ю. Соловьев, Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015 – 50 с.

22. Гительман, Д.А. Безыносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Технологические рекомендации / Д.А. Гительман, А.К. Ольховацкий. – Челябинск, 2015 – 52 с.

23. Корнилович, С.А. Результаты исследования возможности применения ремонтно-восстановительных составов при эксплуатации автотракторных двигателей / С.А. Корнилович // Вестник СибАДИ. – 2014. – № 6 (40). – С. 20-26.

24. Ломухин, В.Б. Трибологические основы безразборного ремонта элементов судовых энергетических установок: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05 / Ломухин Владимир Борисович; ФГОУ «Новосибирский государственный аграрный университет». – Новосибирск, 2010. – 38 с.

25. Лазарев, С.Ю. Значение геомодификаторов поверхностей трения при эксплуатации и ремонте автотракторных двигателей / С.Ю. Лазарев, В.Е. Тарасенко, А.В. Дунаев, А.А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2024. – Вып. 57. – С. 210-218.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.06.2026

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна
Основная абсолютная погрешность
Температура контролируемого материала
Цена деления младшего разряда блока индикации
Напряжение питания
Потребляемая мощность

от 9 до 25 %
не более 0,5 %
от +5 до +65 °C
0,1 %
220 В 50 Гц
30 ВА