

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**

**«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерно-технологический институт

Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А.

# **НАНОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕМОНТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

учебное пособие  
для самостоятельной работы обучающихся по очной, очно-заочной  
и заочной формам обучения по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия,  
магистерская программа Технический сервис в АПК

Брянская область 2018

УДК 631.3004.67 (07)

ББК 30.82

М 69

Михальченков, А. М. Нанотехнологии при ремонте сельскохозяйственной техники: учебное пособие для самостоятельной работы обучающихся по очной, очно-заочной и заочной формам обучения по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, магистерская программа Технический сервис в АПК / А. М. Михальченков, И.В. Козарез, А. А. Тюрёва. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 74 с.

Рецензент: директор ИТИ, профессор, д.т.н. А.И. Купреенко.

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 8 от 24 марта 2018 года.

© Брянский ГАУ, 2018

© Михальченков А.М., 2018

© Козарез И.В., 2018

© Тюрёва А.А., 2018

## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	7
<b>2 УПРОЧНЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ</b> .....	8
<b>3 НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИСАДКИ И ДОБАВКИ</b> .....	24
<b>4 ТОПЛИВНЫЕ НАНОПРЕПАРАТЫ</b> .....	45
<b>5 ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОЛИРОЛИ</b> .....	48
<b>6 ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОГО ПРОДЛЕНИЯ ПОСЛЕРЕМОНТНОГО РЕСУРСА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ</b> .....	56
<b>7 ПРИМЕНЕНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ</b> .....	62
<b>8 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В АПК</b> .....	69
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	70

## ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины является:

- Формирование знаний и умений в области применения современных ресурсосберегающих технологических процессов восстановления деталей с.-х. машин.
- Приобретение необходимого уровня компетентности, позволяющего осуществлять квалифицированные действия и принимать обоснованные решения в различных сферах деятельности, связанных с ТО и ремонтом и знаний, заключающейся во внедрении в производственные процессы ремонта ресурсосберегающих технологий, повышающих долговечность деталей с.-х. машин и снижающих затраты на их восстановление.

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

- знания: основные понятия и методы математического анализа, линейной алгебры и аналитической геометрии, теории дифференциальных уравнений, теории вероятности и теории математической статистики, статистических методов обработки экспериментальных данных; фундаментальные разделы физики; методы выполнения эскизов и технических чертежей стандартных деталей, разъемных и неразъемных соединений деталей и сборочных единиц; методы построения и чтения сборочных чертежей общего вида различного уровня сложности и назначения; основные законы механики жидких и газообразных сред; основные законы термодинамики и теплообмена; современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств; строение и свойства материалов; сущность явлений, происходящих в материалах в условиях эксплуатации изделий; методы формообразования и обработки заготовок для изготовления деталей заданной формы и качества, их технологические особенности; законодательные и нормативные акты, методические материалы по стандартизации, метрологии и управлению качеством; методы и средства контроля качества продукции, организацию и технологию стандартизации и сертификации продукции; основные сведения о систе-

мах и элементах автоматики и автоматизации производственных процессов; основные прикладные программные средства и профессиональные базы данных.

- умения: использовать математический аппарат для обработки технической и экономической информации и анализа данных, связанных с машиноиспользованием и надежностью технических систем; использовать физические законы для овладения основами теории и практики инженерного обеспечения АПК; оценивать и прогнозировать состояние материалов и причин отказов деталей под воздействием на них различных эксплуатационных факторов; выбирать рациональный способ получения заготовок, исходя из заданных эксплуатационных свойств; применять средства измерения для контроля качества продукции и технологических процессов; пользоваться глобальными информационными ресурсами и современными средствами телекоммуникаций.

Дисциплина занимает одно из центральных мест в системе подготовки магистра по профилю Технический сервис в АПК. Знания обучающегося по дисциплине являются базовыми при выполнении выпускной квалификационной работы.

В результате освоения дисциплины у обучающегося формируются компетенции:

ОПК-4: способностью использовать законы и методы математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении стандартных и нестандартных профессиональных задач

ПК-7: способностью проведения инженерных расчетов для проектирования систем и объектов

ПК-8: готовностью осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

Знать: общие принципы и понятия ресурсосберегающей политики; ресурсосбережение в системе технической эксплуатации; общие принципы экономии ресурсов; организацию и технологию сбережения ресурсов технологических

процессов; зарубежный опыт экономии ресурсов в технологических процессах; прогрессивные технологические процессы, позволяющие повысить ресурс деталей при различных видах изнашивания.

Уметь: пользоваться имеющейся нормативно-технической и справочной документацией, глобальными информационными ресурсами и современными средствами телекоммуникаций; раскрывать технологические процессы экономии каждого вида ресурсов.

Владеть: сведениями о ресурсосберегающих технологических процессах восстановления, позволяющими использовать их в производственных условиях

# 1 НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Одним из прорывных направлений повышения надежности сельхозтехники является использование наноматериалов.

По геометрическим параметрам наноматериалы делят на три группы:

- трехмерные (объемные), у которых все три размера (длина, ширина и толщина) находятся в наноинтервале;
- двумерные, у которых поперечные размеры находятся в наноинтервале, а длина может быть сколь угодно велика;
- одномерные, у которых только один размер (толщина) находится в наноинтервале, а два других (длина и ширина) могут быть сколь угодно велики.

К первой группе относятся:

- наночастицы, имеющие форму сферы многогранника, чешуек, стержней, колец и различных их комбинаций, их получают способом искусственного синтеза, используя физические, химические и биологические методы, они наиболее просты и производительны - методы распыления струи расплава жидкостью или газом, испарения - конденсации или вакуум-сублимационной технологии;
- нанопорошки, получаемые методом механического измельчения твердых тел в мельницах.

Некоторые особенности свойств наночастиц и нанопорошков:

- большая (до  $10^3$  м<sup>2</sup>/г) удельная площадь поверхности, что предопределяет их высокую химическую и каталитическую активность, в связи с этим нанопорошки используют не только как сырье для производства наноструктурированных объемных материалов, но и как высокоэффективные катализаторы и реагенты в химических реакциях;
- малые размеры наночастиц, приводящие к изменению условий для их фазовых и структурных превращений, намагничивания и размагничивания, явлений переноса теплоты, заряда, пропускания и отражения света и др., при

этом изменяются все фундаментальные характеристики вещества: параметры решетки, электронный спектр, выход электронов, температура плавления и т.д.; так, уменьшение размеров наночастиц в области  $< 10$  нм приводит к падению температуры плавления на десятки процентов.

Ко второй группе относятся:

- углеродные нанотрубки, свойствами которых можно управлять, изменяя скрученность решетки относительно продольной оси;
- нанотрубки с регулируемым внутренним диаметром, представляют собой основу идеальных молекулярных сит высокой селективности и газопроницаемости, контейнеров для хранения газообразного топлива, катализаторов и т. п.;
- нанотрубки как сенсоры, атомарно острые иголки, элементы экранов дисплеев сверхвысокого разрешения и др.;
- нитевидные кристаллы углеродных, борных стеклянных, кремнеземных и карбидокремниевых волокон, которые применяются в качестве конструкционных, теплоизолирующих, экранирующих от различных воздействий и фрикционных материалов.

Нанотехнологии и наноматериалы находят применение во многих сферах деятельности человека, количество нанопродукции, производимой в мире, с каждым годом возрастает. Использование достижений наноиндустрии отвечает интересам государственной аграрной политики и используются в генетической и клеточной инженерии, лечении животных, улучшении качества кормов, техническом сервисе с.-х. техники.

## **2 УПРОЧНЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ**

Конструкционные материалы, поверхности которых обладали бы одновременно высокими прочностными, антифрикционными и антикоррозионными свойствами, могут быть получены путем нанесения специальных наноструктурированных покрытий.

Для их нанесения или осаждения существуют различные технологии нанесения покрытий. В зависимости от комбинации «покрытие - подложка» и



условий применения покрытия способ нанесения покрытия реализуется с помощью самых разнообразных установок для нанесения покрытий.

Для этих целей широко используются PVD-метод нанесения нанопокровтия (PVD – Physical Vapour Deposition - «физическое парофазное осаждение») и CVD-метод (CVD - Chemical Vapour Deposition - «химическое парофазное осаждение»), причем CVD-метод нанесения покрытия принципиально проще реализовать. Из-за того, что осажденные слои временами имеют толщину слоя в диапазоне несколько мкм, используются также термины тонкопленочная техника, тонкопленочная технология и тонкие пленки.

Технология химического осаждения (CVD-метод) практически не имеет ограничений по химическому составу применяемых для нанесения материалов, а следовательно, и структуре получаемых покрытий. При этом частицы могут быть осаждены на всю поверхность обрабатываемой детали. Участки, где покрытие не требуется, защищаются специальными защитными покрытиями.

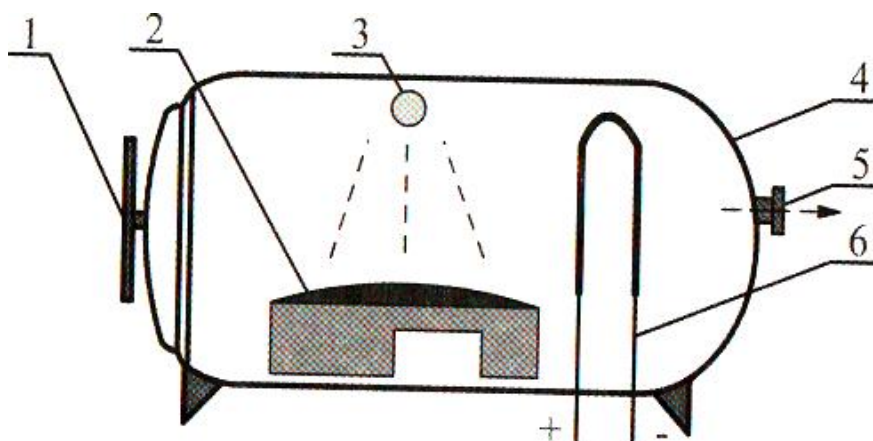
Осуществление CVD-метода при заполнении пространства реакционно-способным газом (кислородом, азотом или углеводородами) в результате химической реакции между атомами осаждаемых металлов и молекулами газа позволяет производить нанесение оксидных, нитридных и карбидных покрытий.

Для получения одинаковых свойств всего покрытия в объеме рабочей камеры (особенно большой) необходимо обеспечить оптимальные потоки газа. С этой целью применяются специальные системы подачи газа, так называемый газовый душ.

Установки для CVD-метода, как правило, имеют достаточно большие габариты, на которых для предотвращения опасных выбросов технологических газов в атмосферу используются специальные системы высококачественных фильтров (рисунок 1).

Технология нанесения нанопокровтий физическим методом (PVD-метод), заключается в том, что металлы, сплавы или химические соединения осаждаются в глубоком вакууме путем подвода тепловой энергии или путем бомбардировки частицами, т. е. материал покрытия различными способами переводит-

ся из твердого состояния в паровую фазу и затем конденсируется на поверхности подложки.



1 - загрузная дверь; 2 - обрабатываемая деталь; 3 - металлизатор; 4 - вакуумная камера (печь); 5 - трубопровод к вакуумному насосу; 6 - нагревательный элемент

Рисунок 1 - Схема PVD-метода нанесения нанопокрyтия

К PVD-методам относят также ионное плакирование и катодное напыление (ионно-плазменное распыление). Для реализации систем PVD применяются камерные печи сопротивления с целью создания глубокого вакуума - менее  $10^{-5}$  мбар (рисунок 2).

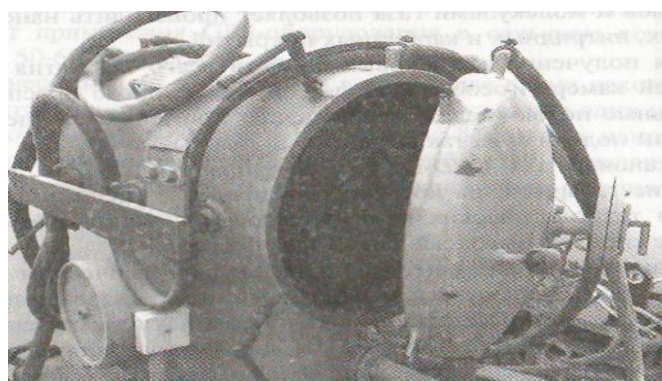


Рисунок 2 - Вакуумная печь для нанесения нанопокрyтия PVD-методом

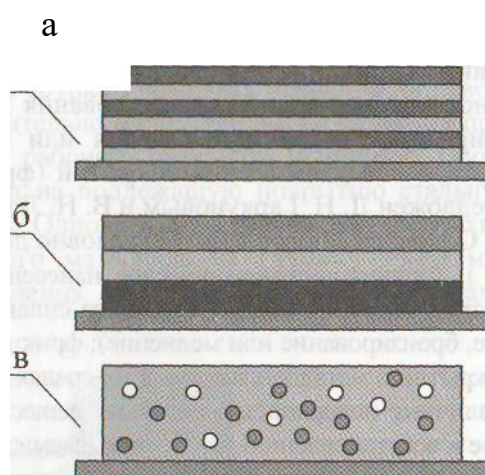
С применением этой установки могут реализовываться несколько вариантов метода (например, низкочастотное плазменно-ионное распыление (PECVD, PACVD) и другие, в том числе для нанесения покрытий на пластмассы при низ-

котемпературных методах. Так например, метод PCVD (англ. plasma и CVD) позволяет снизить, температуру нанесения покрытия практически до температур, используемых при PVD-методе, и является комбинацией двух процессов.

Среди методов PVD наибольшее распространение получил метод конденсации покрытий из плазмы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхностей инструмента (метод КИБ). Возможность широкого варьирования температурой в зонах нанесения покрытий позволяет использовать вакуумно-плазменные методы в качестве универсальных методов для нанесения покрытий на инструменты из твердых сплавов. Эти методы универсальны и с точки зрения возможности получения широкой гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на базе нитридных, карбидных, карбонитридных соединений тугоплавких металлов Ti, Zr, Hf.

В последнее время разработан метод ALD (Atomic Layer Deposipitio - атомно-слоевое осаждение) - метод основан на хемосорбции наносимых материалов из газовой фазы и является циклично-дискретным процессом.

На основе рассмотренных выше методов имеется возможность получения различных покрытий (рисунок 3), в том числе слоистых (а), многослойных (б) и композиционных (в) покрытий.



а – слоистое (двухкомпонентное) покрытие; б – многослойные (например, металлополимерные) покрытия; в – композиционные

Рисунок 3 - Различные комбинации получаемых покрытий

Кроме получения обыкновенных защитных покрытий (антиизносных, противокоррозионных, декоративных и др.), рассмотренные методы позволяют получать ряд уникальных свойств поверхности.

Так, многослойные и композиционные покрытия применяются при изготовлении электролюминесцентных слоев и оптических фильтров, зеркал и т.п.

Рассмотренные технологии очень широко применяются для повышения стойкости инструментальных материалов (твердые сплавы, керамика и сверхтвердые материалы). При этом доля инструментов с покрытием, полученным CVD-методом, составляла в 2005 году около 38 %, а количество инструментов с покрытием, полученным PVD-методом, выросло до 15 %.

В промышленности широко применяется метод фрикционным (с помощью трения) нанесения медьсодержащих покрытий финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО). Покрытия толщиной от 50 до 500 нм из пластичных металлов наносятся в присутствии специальной технологической среды на трущиеся поверхности деталей - коренные и шатунные шейки коленчатого вала, гильзы цилиндров, реборды и поверхности качения вагонных колесных пар, различного вида штоки, пальцы, резьбовые соединения и т.д.

ФАБО применяется в целях снижения интенсивности изнашивания, повышения задиростойкости трущихся поверхностей и интенсификации процессов образования защитных пленок в период приработки после изготовления или ремонта изделия. Впервые данный метод нанесения покрытий (фрикционное латунирование предложен Д. Н. Гаркуновым и В. Н. Лозовским.

Основные способы ФАБО условно делятся на две группы:

1. Фрикционно-механическое нанесение металлических покрытий инструментом из медьсодержащего сплава (фрикционное латунирование, бронзирование или меднение); фрикционно-химическое нанесение покрытий в металлоплакирующих средах, содержащих в своем составе различные поверхностно-активные вещества и соли металлов, способные к восстановлению на обрабатываемых поверхностях при воздействии роликов, дисков, брусков, щеток, тампонов и т.д. из неметаллического инструмента); фрикционное нанесение покрытий из пластичных сплавов в металлоплакирующих средах.

2. Нанесение слоистых твердосмазочных покрытий в виде графита, дисульфида молибдена и других соединений контактным намазыванием различными методами.

К разновидностям ФАБО относятся:

- химико-механическое нанесение покрытий (Россия);

- нанесение покрытий трением с применением щеток (ФРГ);

натирание поверхности латунью (Россия);

электростатическое нанесение покрытий трением (Швейцария);

механическое нанесение латунных покрытий трением (механическое латунирование) в среде глицерина (ФРГ, Россия);

химико-механическое латунирование с применением медьсодержащего вспомогательного материала (ФРГ) и ряд других.

При двух последних методах упрочнение поверхностных слоев объединено с нанесением покрытий трением.

Использование ФАБО имеет следующие достоинства:

небольшие затраты расходных материалов и электроэнергии;

стабильно высокое качество покрытия, в том числе и при некоторых отклонениях условий нанесения покрытий от оптимальных;

автоматизация процесса;

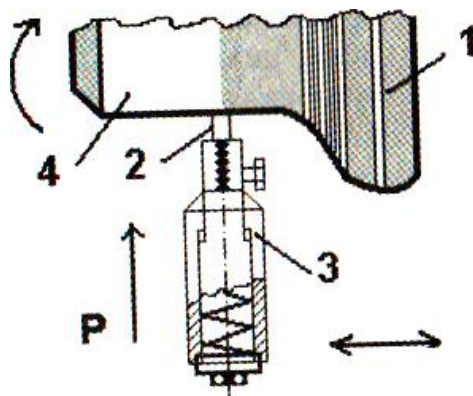
экологическая безопасность;

высокая экономическая эффективность и др.

Принцип латунирования состоит в том, что натирающий латунный элемент (стержень или трубка), вращаясь относительно своей продольной оси, при относительно малом усилии нажатия и в присутствии вспомогательного рабочего материала (например, глицерина) натирает слой латуни на подлежащую покрытию стальную или чугунную поверхность. Одновременно происходит поверхностное упрочнение основного материала на глубину 70-80 мкм вследствие высокого давления в месте линейного контакта (рисунок 4).

ФАБО осуществляется в присутствии специальных технологических сред. Практически во всех средах используется глицерин, который в результате

трибодеструкции (распада под действием энергии трения) на поверхностях контактирующих тел (деталь -инструмент) окисляется, превращаясь в глицериновый альдегид, акролеин, формальдегид, глицериновую кислоту и другие продукты с меньшей, чем у глицерина, молекулярной массой.



1 - деталь «колесная пара»; 2 - натирающий инструмент (латунь); 3 - приспособление; 4 - покрытие; P - нагрузка прижатия; п - подача приспособления

Рисунок 4 - Схема обработки поверхности детали вращений

При фрикционно-химическом нанесении покрытий в металлоплакирующих средах используются различные соли пластичных металлов, например, дихлорид меди. В процессе обработки происходит гидролиз солей с образованием кислот.

Образующаяся соляная кислота способствует удалению окидных пленок, и в результате взаимодействия с оксидами железа на обрабатываемой поверхности образуются защитные слои из хлоридов железа. Происходит восстановление продуктов коррозии и растворение активных металлов и их соединений. Взаимодействие продуктов превращения глицерина и других органических веществ, содержащихся в технологических средах, приводит также к образованию высокомолекулярных соединений и полимеров трения.

При ФАБО на обрабатываемой поверхности формируются равномерные антифрикционные покрытия из пластичных металлов и полимерных цепей. Согласно металлографическим и спектральным исследованиям структура поверхностного слоя стальной поверхности после ФАБО имеет следующие четыре основные характерные зоны: композиционное (медь, цинк, олово) антифрикцион-



ное покрытие; переходная диффузионная зона; деформированная (наклепанная) зона; основной конструкционный материал.

В процессе эксплуатации под действием поверхностно-активных веществ, содержащихся в моторном масле, происходит избирательное растворение нанесенного материала с образованием тонких медных покрытий, по своим физико-механическим и триботехническим свойствам близких к сервоитной пленке, характерной для эффекта безызносности. Структура же сервоитной пленки содержит нанокластеры и нанофазы пластичных цветных металлов.

Для фрикционно-механического нанесения медьсодержащих покрытий на поверхности трения гильз цилиндров и других деталей втулочного типа разработаны специальные приспособления (рисунок 5), полуавтоматы, автоматы и станки.

Режим фрикционной обработки детали прутковым инструментом следующий: окружная скорость поверхности детали 0,15...0,3 м/с; давление прижатия прутка 10...50 МПа; продольная подача прутка 0,1...0,2 мм/об.; число рабочих ходов 1...2.

Нанесение антифрикционных противоизносных покрытий позволяет существенно (более чем в 3 раза) снизить интенсивность изнашивания конструкционных материалов соединения «шейка коленчатого вала - вкладыш» в период приработки.

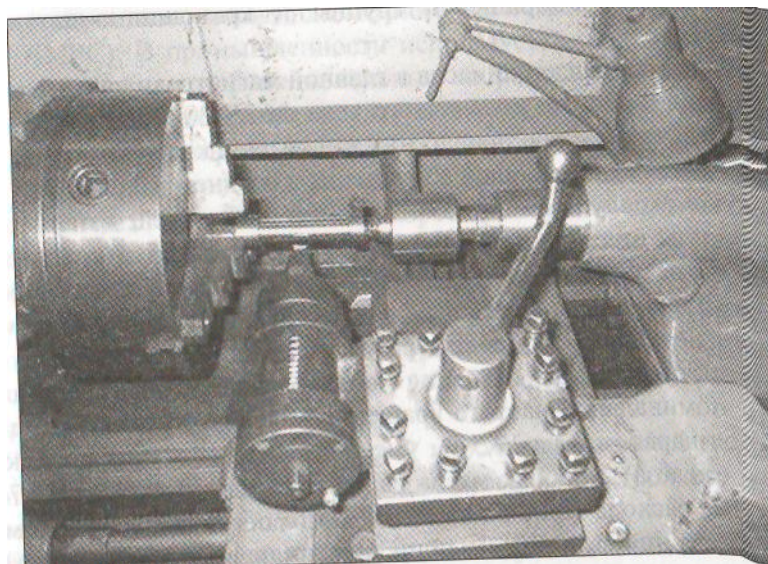


Рисунок 5 - Нанесение покрытия методом фрикционного латунирования на токарном станке

При приработке поверхностей с нанесенными антифрикционными покрытиями в первый момент времени идет интенсивная приработка с формированием оптимальной структуры поверхностных слоев.

Температура в зоне трения при наличии антифрикционного покрытия снижается почти в 5 раз. Это связано с лучшей теплопроводностью нанесенных покрытий и отсутствием очагов схватывания, так называемых мгновенных температурных всплесков при микроконтактах.

По результатам стендовых испытаний двигателей СМД-62 (мощностью 180 кВт) с гильзами цилиндров и шейками коленчатого вала, обработанными методом ФАБО в среде СФП-3:

- эффективная мощность возрастает на 8-12 кВт за счет снижения механических потерь на трение и улучшение качества приработки деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма;
- повышается давление масла в главной магистрали двигателя при номинальной частоте коленчатого вала на 25...30 %, что указывает на более качественную приработку вкладышей коленчатого вала;
- снижается износ деталей соединения в среднем в 2 раза.

В ходе эксплуатационных испытаний двигателей, детали которых (гильзы цилиндров, коренные и шатунные шейки коленчатых валов) были обработаны с помощью ФАБО, в хозяйствах Московской и Липецкой областей по сравнению с типовой технологией ремонта получены следующие результаты: снижение средней интенсивности падения давления масла в главной магистрали дизелей на номинальной частоте вращения коленчатого вала в зависимости от наработки на 12,5 %, уменьшение содержания продуктом износа (железа) в пробах масла из картеров двигателей на 34,7 %; снижение расхода топлива на 5...10 %, что обеспечивает экономию 0,85...2,6 т топлива в год на один двигатель; уменьшение расхода моторного масла в 1,7 раза, увеличение межремонтного ресурса 1,23 раза (с 2200 до 2700 мото-ч).

В перспективе возможность нанесения нанопокровтий методом ФАБО на стальные и чугунные детали позволит осуществить замену деталей из цветных сплавов на стальные и чугунные детали с покрытием.



В Институте физики твердого тела РАН (г. Черноголовка Московской области) разработаны технологии нанесения нанокерамических защитных покрытий для различных узлов трения - уплотнений, подшипников скольжения. В НПФ «Элан-Практик» (г. Дзержинск Нижегородской области) разработали ряд технологий и установок магнетронного нанесения нанокompозитных покрытий. Покрытия наносят в вакууме, на автоматизированных установках, которые обеспечивая стабильную повторяемость высоких свойств покрытий. Ведущие производители вакуумных установок в мире используют два способа нанесения нанокompозитных покрытий - вакуумно-дуговой и магнетронный. Преимущества магнетронного метода наиболее ярко проявились в последние годы при использовании дуальных магнетронных распылительных систем.

Для нанесения специальных многослойных многокомпонентных наноструктурированных покрытий ВИИПМС разработал способ высокоскоростного ионно-плазменного магнетронного распыления (ВИИПМС). В промышленности используется установка для нанесения защитных и функциональных покрытий из различных материалов, в том числе наноструктурированных - многослойных, состоящих из отдельных пленочных слоев наноразмерного диапазона. Установка позволяет наносить одновременно 4 типа многокомпонентных материалов со скоростью от 50 нм/мин до 1...2 мкм/мин. По типам используемых магнетронов и их техническим возможностям установка не имеет мировых аналогов. Она может также использоваться для получения ультрадисперсных порошков наноразмерных диапазонов из многокомпонентных материалов с одновременным капсулированием порошинок в оболочки из нанопокpытий.

Перспективно восстановление и упрочнение деталей гальванокомпозиционными покрытиями. Для этого в электролиты вводят нанопорошки, в том числе керамические.

Вследствие улучшения структуры электроосаждаемых композиционных материалов повышаются их твердость, сопротивляемость износу и коррозии. Микротвердость композиционных материалов с нанокompонентами на основе никеля и хрома в 1,4-1,9 раза выше, чем у чистых металлов, и в 1,1-1,2 выше по

сравнению с композиционными материалами с микропорошками, причем во всех случаях микротвердость повышается с увеличением содержания частиц в композиционном материале. Включение ультрамалых частиц в никелевые и хромовые матрицы снижает интенсивность их изнашивания в зависимости от содержания наноразмерного порошка соответственно в 1,5-2 и 2-2,5 раза.

В ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» разработан способ получения нано-композиционных гальванических покрытий на основе хрома с использованием нанодисперсных порошков с размерами частиц 10...30 нм. Для получения таких покрытий возможно применение различных нанодисперсных материалов, в том числе композиционных (Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu-BN, Cu-MoS<sub>2</sub>, Cu-ZnO<sub>2</sub>). Предлагаемый способ по сравнению с существующим способом восстановления деталей машин гальваническим хромированием позволяет улучшить основные физико-механические свойства получаемых покрытий. Например, композиционное гальваническое покрытие на основе хрома, полученное с применением нанодисперсного порошка оксида алюминия, по отношению к стандартному покрытию хрома обладает микротвердостью выше в среднем в 1,4 раза, износостойкостью - в среднем в 2,2 раза и коррозионной стойкостью - в среднем в 1,8 раза. Улучшение физико-механических свойств гальванического покрытия связано с изменением его структуры под воздействием нанодисперсных частиц. Все это позволяет увеличить ресурс автотракторных деталей машин.

Способ получения композиционных гальванических покрытий на основе хрома с использованием нанодисперсного порошка оксида алюминия был применен для восстановления и упрочнения плунжерных пар топливного насоса высокого давления. Проведенные стендовые и эксплуатационные испытания, а также расчеты показали, что ресурс плунжерных пар, восстановленных и упрочненных с помощью наноконпозиционного хромирования, в 1,8 раза выше, чем у плунжерных пар, восстановленных стандартным гальваническим хромированием.

В последнее время уделяется повышенное внимание наноалмазным композиционным покрытиям. Введение наноалмазов в электролиты позволяет получить

покрытия с низким коэффициентом трения, высокой теплопроводностью и повышенной износостойкостью. Наличие микроскопических и адсорбционно-активных частиц наноалмазов способствует увеличению адгезии алмазного покрытия, к восстанавливаемой поверхности и усилению когезионных свойств. Такое покрытие обладает не только хорошей износостойкостью и высокой микротвердостью, но и выдерживает высокие динамические нагрузки при эксплуатации. Его ресурс увеличивается в 2-10 раз по сравнению с обычными гальванометаллическими покрытиями в зависимости от области использования изделия. Получение алмазных композиционных покрытий основано на способности наноалмазов размерами 4-6 нм осаждаться с металлами при их электрохимическом и химическом восстановлении из растворов их солей. Это приводит к образованию двухфазного композиционного электрохимического покрытия, состоящего из металлической матрицы и внедренных в нее дисперсных частиц наноалмазов. Частицы наноалмазов в отличие от обычных мелкодисперсных порошков-наполнителей являются не наполнителем, а специфическим структурообразующим материалом. Свойства алмазных композиционных покрытий: микротвердость до 2000 HV; повышение коррозионной стойкости в 2-2,5 раза по сравнению с железнением и хромированием; сцепление с материалом поверхности на уровне прочности базового металла. Наносятся на любые углеродистые, инструментальные, штамповые и конструкционные стали, чугун, алюминий.

Наиболее эффективные области применения наноалмазных композиционных покрытий: узлы и детали, подверженные интенсивному износу (штокки, шестерни, узлы трения, подшипники, передачи и др.); узлы и детали машин (цилиндры, детали поршневой группы и т.д.); формообразующий инструмент (пресс-формы, штампы, матрицы, фильеры, калибраторы, пуансоны) для работы с металлами, стеклом, пластиком, абразивными материалами; металло- и деревообрабатывающий инструмент (фрезы, свёрла, метчики, зенкера, развертки, резцы и др.).

В ФГУП ФНПЦ «Алтай» (г. Бийск) разработаны технологии нанесения композиционных металлоалмазных покрытий. Эти покрытия наносятся элек-

трохимическим способом с помощью никелие-ых электролитов. Размер частиц алмаза составляет 4-6 нм. После введения наночастиц алмаза коррозионная стойкость покрытий увеличивается на 50-120%, а износостойкость - в 2-4 раза.

Для нанесения нанопорошков применяют также детонационный метод. Он разработан в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН для повышения ресурса подшипников скольжения погружных центробежных насосов. Для напыления покрытий используют детонационную пушку АДУ «Обь». Порошок для напыления представляет собой гранулы 20-60 мкм, размер зерна в которых составляет 17 нм. В процессе детонационного напыления получены наноструктурированные покрытия с 62%-ным содержанием монокарбида. Испытания таких покрытий на трение и износ в воде показали, что они обладают пониженным коэффициентом трения, высокой нагрузкой заедания по сравнению с обычным покрытием из керамического порошка. Подшипники с износостойким покрытием проходят опытную эксплуатацию в ОАО «Сургутнефтегаз».

В г. Рыбинске (Ярославская область) началось строительство нового завода (один из инвестиционных проектов, представленных ГК «Роснано» на Международном форуме по нанотехнологиям в 2009 г.), который будет производить инструмент для обработки деталей авиадвигателей и металлов на предприятиях машиностроительных отраслей. Ключевая технология проекта - нанесение nano-структурированных покрытий на инструмент - разработана Курчатовским институтом в рамках Федеральной целевой программы. Нанослойные и наноструктурированные покрытия сложной архитектуры из нитридов, карбидов, оксидов, боридов, а также алмазо-подобные пленки, износостойкие и антифрикционные покрытия будут наносить плазменно-дуговым способом. Такие покрытия делают инструмент более стойким к износу. Срок его службы увеличивается, а обработку металла можно производить на более высоких скоростях: скорость резки возрастает в 1,5-2 раза. Новое производство должно ослабить зависимость российских машиностроительных предприятий от импорта.

Чтобы ремонт был экономически эффективен, технический уровень отремонтированной техники должен соответствовать необходимым требованиям,

а межремонтный ресурс должен быть не ниже 80% доремонтного при стоимости не выше 40%.

Такие результаты становятся возможными при использовании для восстановления изношенных деталей технологий, обеспечивающих повышение износостойкости слабых соединений агрегата в 2-6 раз. В их число входит технология создания на рабочих поверхностях деталей покрытий с субмикроструктурной структурой с размерами зёрен 20-300 нм электроискровой обработкой (ЭИО) в газовой среде. Опыт ГОСНИТИ по ремонту агрегатов с восстановлением деталей наноструктурными покрытиями показал, что для образования электроискрового покрытия на площади в 1 см<sup>2</sup> толщиной 0,3 мм требуется в 10-100 раз меньше энергии, чем при электродуговой наплавке, а выработка электроэрозиониста за рабочий день в 5-7 раз выше, чем у рабочих других профессий ремонтного предприятия. Это свидетельствует о перспективности использования данных технологий. Их внедрение в производство обеспечит снижение стоимости отремонтированных гидроагрегатов на 30-60% относительно стоимости нового агрегата, повышение износостойкости соединений и узлов гидроагрегатов сельхозтехники не менее чем в 1,5 раза, уменьшение коэффициента трения не менее чем в 1,2 раза, восстановление на 100% технического уровня и не менее чем на 90% ресурса после ремонта, возможность освоения технологии ремонта гидроагрегатов на предприятии любого уровня, окупаемость затрат для ремонтных предприятий при объёме ремонта более 100 шт. в год в течение одного года.

Ремонт агрегатов машин проводится, как правило, с заменой отказавших деталей на новые или восстановленные. Цена отремонтированных агрегатов составляет 40-120% от стоимости нового изделия, а ресурс в 1,5-6 раз ниже ресурса агрегатов заводского изготовления.

Опыт Грачёвского завода «Гидромаш» (Ставропольский край), ЗАО «Ярославское РТП», УНПЦ ИМЭ МГУ им. Н.П. Огарёва (Республика Мордовия), ООО «Агротехника» (Саратовская обл.), ДОО «Рума-Дем-Киев» (Республика Сербия) показывает, что можно снизить на 10-50% годовые затраты на техсервис, если межремонтный ресурс техники будет не менее

90% от ресурса новой при отпускной цене не более 60% от стоимости нового изделия.

Экономический эффект от внедрения технологий наноструктурирования поверхностных слоев триботехнических материалов методом электроискровой обработки на примере восстановления гидравлических распределителей, турбокомпрессоров и гидронасосов типа НШ-К составит соответственно 2,4 млн руб. (окупаемость 1,9 года), 1,3 млн руб. (окупаемость до одного года) и 0,95 млн руб. (окупаемость 1,9 года).

Кроме того, технология отвечает требованиям стандарта ИСО 22628:2002, предусматривающего повторное использование невозобновляемых природных ресурсов и сокращение вредных выбросов в атмосферу. Например, при ремонте одного гидрораспределителя Р75/80 с восстановлением изношенных деталей износостойкими покрытиями можно вернуть для повторного использования 13,9 кг металла (9,15 кг чугуна, 3 - легированной стали, 0,9 - конструкционной стали и 0,96 кг цветного металла), а при ремонте одной гидротрансмиссии ГСТ-90 - 126 кг металла (4,8 кг цветного металла, 24,5 - легированной стали, 104 кг чугуна). Для изготовления аналогичных новых изделий металла расходуется в 2 раза больше.

В ГНУ ГОСНИТИ разрабатываются нанотехнологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающей техники высокоресурсными металлокерамическими покрытиями. Основные 6 производителей сельскохозяйственной техники в России выпускают в год 522150 рабочих органов плугов, борон и культиваторов на общую сумму 410,7 млн руб. Износостойкость деталей почвообрабатывающей техники отечественного производства низкая. Лапы культиваторов требуется затачивать через каждую смену работы, лемехи без заточки способны обработать 9-13 га при использовании на черноземе и супесчаном грунте, 11-16 га на других грунтах. В связи с объемной закалкой деталей на заводах-изготовителях не обеспечивается самозатачивание их лезвий. Частые заточки быстро приводят к полному износу и замене новыми деталями.

В ГОСНИТИ разрабатывается также метод электродугового упрочнения

деталей с использованием порошковых наноматериалов, представляющих собой высокотвердые комплексные соединения,  $-Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiN$ ,  $BN$  и др.

Сущность нанотехнологии упрочнения: с помощью специального пистолета порошковый конгломерат подается на упрочняемую поверхность и одновременно расплавляется косвенной дугой при использовании графитовых электродов. Источник питания переменного тока снабжается осциллятором, обеспечивающим зажигание дуги и ее стабилизацию на дистанции до 12-13 мм. Толщина упрочняющего наплавленного слоя 2 мм плюс 0,5 мм термодиффузионного. Хрупкость металлокерамического нанопокртия нейтрализуется стальной матрицей.

В основе разработки - уже испытанный электродиффузионный метод упрочнения, обеспечивающий твердость 64 (цементация) -80 HRC (боронитроалитирование) и увеличивающий ресурс деталей в 2-3 раза. Он дает возможность не только упрочнения новых деталей, но и восстановления с упрочнением одновременно изношенных деталей по толщине в пределах допустимых размеров - 2,5 мм на сторону и компенсация износа до 4-5 мм. Ресурсосбережение будет обеспечиваться за счет использования порошковых металлоотходов шарикоподшипниковой промышленности ШХ-15 в качестве матричных материалов при металлокерамическом упрочнении. При этом стоимость упрочнения снизится на 50% по сравнению с упрочнением током высокой частоты плазменной и дуговой наплавками дорогостоящими порошками и на 60% - по сравнению с зарубежными технологиями. В качестве основных армирующих (керамических) материалов выступают оксид алюминия  $Al_2O_3$ , оксид кремния  $SiO_2$  и техническая бура  $Na_2B_4O_7$ , они обеспечивают высокую твердость упрочнения, превышающую на 50 % твердость покрытий на базе карбидов хрома, карбидов и боридов хрома и других твердосплавных материалов, стоимость которых в 3 раза выше. Для реализации технологии создается эксклюзивное оборудование для металлокерамического упрочнения рабочих органов сельскохозяйственной техники с твердостью до 97 HRC, что в 1,5 раза выше, чем у отечественных и зарубежных аналогов, а ресурс упрочненных рабочих органов почвообрабатывающей техники выше не менее чем в 5 раз по сравнению с закаленными на заводах-изготовителях.

### 3 НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИСАДКИ И ДОБАВКИ

Наноматериалы и нанотехнологии находят всё большее применение в различных химических препаратах для автомобильной промышленности, называемых потребителями, автохимией и автокосметикой. К таким разработкам относятся различные ремонтно-эксплуатационные присадки и добавки к топливу и смазочным материалам, а также лакокрасочные покрытия, шампуни, полироли и некоторые другие товары. По имеющимся данным, в США затраты на производство присадок, используемых в топливно-смазочных материалах, с 60-х годов XX в. возросли с 250 млн до более чем 1 млрд долл.

Результатом многолетних исследований в основном отечественных ученых и практиков стал тот факт, что трение представляется не только как разрушительное явление природы. Оно в определенных условиях может быть реализовано как самоорганизующийся созидательный процесс, что позволило разработать новые, ранее не известные методы технического сервиса машин, в том числе безразборного восстановления агрегатов и узлов техники в процессе их непрерывающейся эксплуатации.

Совместное использование теоретических положений и практических достижений трибологии (греч. *tribos* - трение, *logos* - наука - изучает контактное взаимодействие твердых тел при их относительном движении, включая весь комплекс вопросов трения, изнашивания, смазки и самоорганизации) и нанотехнологии позволяет использовать трение не как разрушительное явление природы, а как самоорганизующийся созидательный процесс, в том числе для безразборного восстановления агрегатов и узлов техники в процессе их непрерывной эксплуатации.

В связи с последними достижениями науки и практики в этой области настало время внести изменение и в само определение понятия «трибология». Наиболее полно отражающим современный уровень изучения и развития данного вопроса было бы следующее определение: трибология - наука о контактном взаимодействии подвижных соединений, охватывающая комплекс вопросов их трения, изнашивания, смазывания и самоорганизации (восстановления).



Впервые термин «безразборное восстановление» официально применен и введен в 1993 году в связи с изобретением, а затем патентованием «Способа безразборного восстановления трущихся соединений». В дальнейшем на основании теоретических предпосылок и проведенных исследований автором данной книги с учениками сформулировано и в настоящее время интенсивно развивается самостоятельное научно-техническое направление - безразборный технический сервис машин и механизмов.

Под безразборным сервисом (англ. service - производить осмотр и текущий ремонт) подразумевается комплекс технических и технологических мероприятий, направленных на проведение операций технического обслуживания и ремонта узлов и механизмов без проведения разборочно-сборочных операций с применением передовых разработок химической промышленности. Безразборный сервис может включать операции обкатки (приработки), диагностики, профилактики (сезонной подготовки), автохимического тюнинга, очистки и восстановления как отдельных соединений, так и агрегатов и механизмов в целом.

К разработкам в области безразборного сервиса относятся не только присадки и добавки к различным автомобильным технологическим средам, но и самостоятельные препараты и технологии по их применению.

Теоретическими предпосылками безразборного сервиса (восстановления) явились исследования в теории самоорганизации, предсказанной бельгийским физиком и химиком русского происхождения Ильей Романовичем Пригожиным (лауреат Нобелевской премии по химии 1977 года «...за работы по термодинамике необратимых процессов, особенно за теорию диссипативных структур»). И. Р. Пригожий в Бельгию был привезен родителями из России в раннем детстве. В 1982 году он был избран иностранным членом Академии наук СССР, а с 1991 года является иностранным членом Российской академии наук - РАН.

В прикладном плане безразборный сервис базируется на научных открытиях российских ученых. К ним, в первую очередь, относится явление избирательного переноса при трении (эффекта безызносности), открытое и исследованное Д.Н. Гаркуновым и И.В. Крагельским.

Безразборный сервис транспортных средств является дальнейшим развитием исследований в этих областях и, как видно из приведенных выше данных, в основном базируется на положениях нанонауки. Термин стал широко применяться в последовавших за этим многочисленных публикациях и нескольких монографиях по данному новому научно-практическому направлению.

Особое место, и это признали даже производители смазочных материалов, начав производство специальных моторных масел для автотранспорта с пробегом более 100 000 км, занимают методы и средства, предназначенные для частичного восстановления изношенных поверхностей трения узлов и агрегатов автомобиля в процессе непрекращающейся эксплуатации.

В классическом понимании процесс восстановления детали, соединения или машины в целом подразумевает проведение технических и технологических мероприятий, направленных на изменение их геометрических размеров до номинальных или ремонтных, либо восстановление работоспособности до нормативных показателей. Однако проводить ремонтные работы имеет смысл даже в том случае, если наблюдается только частичное (неполное) выполнение этих требований.

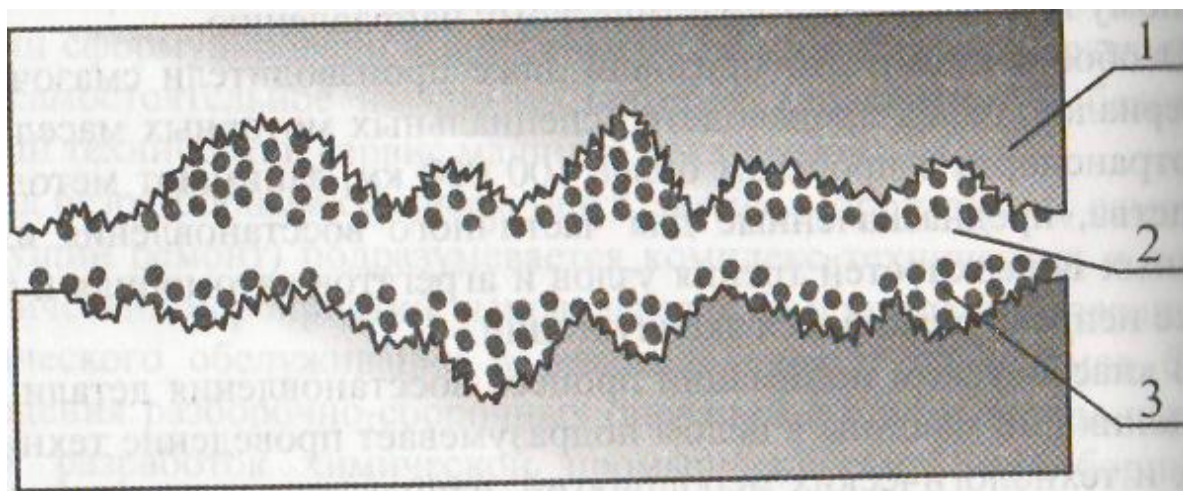
В условиях недостатка финансовых средств у большинства населения, определенного дефицита доступных качественных топливно-смазочных материалов проблема поддержания в работоспособном состоянии отечественной и импортной техники может быть во многом решена за счет применения специальных ремонтно-эксплуатационных препаратов, в том числе разработанных на основе наноматериалов и нанотехнологий.

Известные автохимические препараты для безразборного сервиса авто-тракторной техники могут быть отнесены к нанотехническим разработкам по трем основным критериям:

- применение в их составе наноразмерных частиц (ультрадисперсные алмазы, металлические порошки политетрафторэтилен (PTFE), модифицированный графит и т.д.);
- использование компонентов, полученных (произведенных) с использо-

ванием нанотехнологий, например золь-гель технологии (рекондиционеры);

- формирование на поверхностях трения вследствие взаимодействия с активными компонентами этих препаратов защитных и наноразмерных (наноструктурированных) покрытий и структур (ионные металлоплакирующие присадки, кондиционеры, геомодификаторы) (рисунок 6).



1 — конструкционный материал детали; 2 - защитные наноструктурированные пленки (покрытия); 3 - смазочный материал с наноконкомплексами

Рисунок 6 - Механизм защитного (восстановительного действия) ремонтно-восстановительных нанопрепаратов автохимии:

Несомненно, что все вышеперечисленные свойства в той или иной мере присущи практически всем ремонтно-восстановительным препаратам автохимии, применяемым для безразборного сервиса (восстановления) автотракторной техники. В одних случаях они являются определяющими для того, чтобы быть отнесенными к нанотехнологическим препаратам, а в других могут быть отнесены к вспомогательным (дополнительным) эффектам. Например, во всех препаратах наряду с макрочастицами могут находиться и наноразмерные частицы.

Известные в настоящее время масляные (применяющиеся в качестве добавок и присадок в моторные, трансмиссионные и гидравлические масла) ремонтно-восстановительные препараты (РВП) по компонентному составу, физико-химическим процессам их взаимодействия с трущимися поверхностями, свойствам получаемых покрытий (защитных пленок), а также механизму функционирования в процессе дальнейшей эксплуатации автомобиля можно разде-

лить на три основные группы: реметаллизанты (металлоплакирующие соединения), полимерсодержащие препараты и геомодификаторы.

К восстановителям, в основном, по критерию повышения технико-экономических показателей обработанной техники следует условно отнести также кондиционеры поверхности и слоистые добавки-модификаторы.

В некоторых случаях РВП называют еще ремонтно-эксплуатационными препаратами (РЭП), что более точно отражает их предназначение и заложенные функциональные свойства.

Практически все фирмы-производители препаратов подкапотной автохимии выпускают также добавки к трансмиссионным маслам и пластичные смазки-восстановители.

Все препараты различаются по способам применения (введения в трущиеся соединения). Большинство составов вводят в моторные и трансмиссионные масла, топливо или пластичные смазки. Другие из них подают через систему питания (впускной трубопровод) в виде аэрозолей и добавок к топливно-воздушным смесям - так называемая «специальная обработка».

Достаточно часто выпускаются РВП комплексного действия, например, в одном флаконе реметаллизант и кондиционер металла, полимерсодержащий препарат и слоистая добавка. Встречаются препараты, разработчики которых заявляют о содержании в них практически всех ремонтно-восстановительных компонентов: тефлона, керамики, молибдена, а также еще каких-то полимерных и поверхностно-активных веществ в одном флаконе.

Применение ремонтно-восстановительных препаратов определяется техническим состоянием автомобиля. При этом необходимость того или иного воздействия оценивается на основании результатов технической диагностики. По результатам диагностирования назначаются либо профилактические препараты более «мягкого» действия, либо препараты, обеспечивающие более интенсивное воздействие на трущиеся соединения и агрегаты автомобиля

Все препараты различаются по способам применения (введения в трущиеся соединения). Большинство составов вводят в моторные и трансмиссионные

масла, топливо или пластичные смазки. Некоторые из них подают через систему питания (впускной трубопровод) в виде аэрозолей и добавок к топливно-воздушным смесям так называемая «специальная обработка». Ряд препаратов подают непосредственно в зону трения, например, в цилиндропоршневую группу и т.д.

Рассмотренные нанопрепараты позволяют: значительно повысить износостойкость деталей; сократить продолжительность и улучшить качество приработки поверхностей трения; эффективно повысить задиростойкость и снизить питтинг контактирующих поверхностей в тяжело нагруженных парах трения; понизить температуру работающих узлов, уровень шума и вибрации. Разработки наиболее эффективны в условиях граничного трения, при высоких нагрузках и скоростях скольжения, повышенной температуре трения и «масляном голодании», характерных для изношенных трущихся соединений техники с большим сроком службы, при режимах приработки и перегрузках.

Образование устойчивых защитных металлических пленок - это достаточно продолжительный (постепенный) процесс, поэтому при испытаниях, а также штатной работе техники может не наблюдаться резкого (внезапного) улучшения эксплуатационных показателей, но обязательно отмечается их положительная динамика, существенно влияющая на повышение надежности и ресурса узлов и агрегатов техники.

В соответствии с вышесказанным в настоящее время к нанотехнологическим препаратам автохимии для применения в качестве присадок и добавок к смазочным материалам автотракторной техники следует отнести следующие разработки.

Реметаллизанты (металлизанты) - особый класс препаратов автохимии, базирующийся на аспектах теории самоорганизации, предсказанной И. Р. Пригожиным, и научном открытии российских ученых Д. Н. Гаркунова и И. В. Крагельского, – явлении избирательного переноса при трении (эффекта безызносности). Латинская приставка «ре-» в данном случае подразумевает возврат (return) металла на поверхности трения.

Механизм их действия заключается в металлоплакировании трущихся поверхностей вследствие осаждения металлических компонентов, входящих в состав реметаллизантов во взвешенном или мойном виде. При этом частично восстанавливаются нано- и микродефекты, снижается коэффициент трения, значительно повышается износостойкость плакированных поверхностей, в некоторых случаях в сотни раз.

Термин «металлоплакирующий» (франц. plaquer - покрывать) введен Д. Н. Гаркуновым с соавторами в связи с изобретением ими и 1962 году смазочного материала, реализующего эффект избирательного переноса при трении.

В настоящее время металлоплакирующие композиции (реметаллизанты) разделяются на порошковые и ионные. Порошковые металлоплакирующие препараты в качестве основного компонента содержат ультрадисперсные (наноразмерные) порошки, а ионные - полностью маслорастворимые соли пластичных металлов, органические кислоты, мыла жирных и нафтеновых кислот, жирные амиды, эфиры жирных кислот и спиртов, а также глицерин. В качестве плакирующих металлов используются медь, олово, цинк, железо, алюминий, свинец, серебро, хром, никель, а также молибден.

Металлсодержащие смазочные композиции, кроме порошкообразных металлов, обычно содержат активные химические компоненты, способные образовывать с ними структуры, необходимые для реализации эффекта безызносности. Активные компоненты смазочной среды получают в процессе трения или добавляются при приготовлении. Подтверждением этому служат смазочные композиции, содержащие альдегиды, способные при трении образовывать вещества, необходимые для формирования металлсодержащих соединений, например, комплексов двухвалентной меди.

Все жирные кислоты (предельные и непредельные) являются поверхностно-активными веществами (ПАВ). Под действием жирных кислот и других органических компонентов поверхности трения пластифицируются, что способствует быстрому созданию оптимальных шероховатостей трущихся поверхностей. При относительно высоких температурах порядка  $T = 423-477$  К на них

образуются тончайшие медные структуры (толщиной около 100 нм) - «серво-витная» пленка. Под действием содержащихся в присадке активных групп СО-ОН и компонентов смазочного материала на поверхности «серво-витной» пленки образуется полимерная пленка - «серфинг-пленка».

Впервые присадку, образующую в процессе работы на трущихся поверхностях трения медную пленку, в 60-х годах прошлого века разработали в Московском технологическом институте. Она состояла из продуктов взаимодействия 50 % олеиновой кислоты и 50 % олеата меди.

Швейцарская компания «Actex S.A.» в 1979 году начала серийное производство металлоплакирующих порошковых препаратов марки Lubrifilm metal, основанных на практической реализации «эффекта безызносности». Почти через 13 лет, в 1992 году, Lubrifilm metal одним из первых препаратов автохимии этого класса был официально сертифицирован НАМИ (Научный автомобильный институт, город Москва) и одобрен АвтоВАЗом.

Механизм действия препаратов заключается в формировании на трущихся поверхностях из активных компонентов препаратов и частиц износа нанокристаллической самовосстанавливающейся защитной пленки с минимальными коэффициентами трения и интенсивностью изнашивания. При этом обеспечивается восстановление нано- и микродефектов поверхностей трения и их работоспособности.

Наибольший эффект достигается в условиях граничного трения, при высоких нагрузках и скоростях скольжения, повышении температуры трения, что наиболее характерно для изношенных трущихся соединений техники с большим сроком службы, при режимах приработки и перегрузках.

Разработанные нанопрепараты позволяют значительно повысить износостойкость деталей; сократить продолжительность и улучшить качество приработки поверхностей трения; эффективно повысить задиростойкость и снизить питтинг контактирующих поверхностей в тяжело нагруженных парах трения; понизить температуру работающих узлов, уровень шума и вибрации.

Металлоплакирующая пластичная смазка NRW обеспечивает частичное

безразборное восстановление микроизносов подшипников качения, подшипников скольжения и других смазываемых поверхностей.

Присадка Ретурн Металл также может применяться в качестве добавки к смазочно-охлаждающим техническим средам (СОТС) для улучшения качества поверхностей и повышения стойкости металлорежущего инструмента.

Механизм действия этих препаратов заключается в активации входящими в его состав наноконкомплексами кинетической и потенциальной энергии трения. При этом из активных компонентов препаратов и частиц износа на трущихся поверхностях формируется нанокристаллическая самовосстанавливающаяся защитная (сервовитная) пленка с минимальными коэффициентом трения и интенсивностью изнашивания. Препараты обеспечивают восстановление nano- и микродефектов поверхностей трения и их работоспособность.

В настоящее время рядом научно-технических центров разрабатывается новое направление в автохимии и трибологии в целом. Это направление получило наименование «геотрибология» - (греч. геос - земля) - т. е. трение, износ и смазывание в условиях применения различного рода минералов и других соединений геологического происхождения, имеющих микро- и наноразмеры.

Целью работ в этом направлении является создание специальных добавок в топливно-смазочные материалы на базе металлокерамических соединений, которые смогли бы вступать во взаимодействие с контактируемыми (трущимися) участками деталей и формировать на них металлокерамический слой, частично восстанавливающий дефекты поверхностей трения, и обладать высокими антифрикционными и противоизносными свойствами.

Препараты автохимии на основе минералов естественного и искусственного происхождения (nano- и микроуровня) получили наименование «геомодификаторы», «геоактиваторы», «ремонтно-восстановительные составы» (РВС-технология) или «ревитализанты». Попадая на поверхности трения вместе с маслом или в составе пластичной смазки, инициируют процесс формирования на трущихся поверхностях металлокерамической наноразмерной структуры с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения.



Началом исследований в данном направлении стало необычное явление, обнаруженное при бурении в Советском Союзе сверхглубокой скважины на Кольском полуострове. Было выявлено, что при прохождении буровым инструментом (долотом) горных пород, богатых минералом серпентином (змеевиком), ресурс режущих кромок инструмента резко увеличивался.

Серпентины - группа природных минералов, встречается в не скольких видах. Все серпентины - зеленые минералы, слагающие жирные на ощупь массивные агрегаты и имеющие слоистую структуру, отдалённо напоминающую графит, и различимые лишь под электронным микроскопом.

Формула серпентина -  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  или  $3MgO_2Si_2H_2O$ , или  $(MgOH)_6Si_4O_{11}H_2O$ . Компонентный состав серпентина: MgO – 43 %, Si<sub>2</sub> – 44 %, H<sub>2</sub>O -12,1-12,9 % (у серпентина содержится около 13 % конституционной воды (конституционная вода представлена в минералах ионами гидроксидов (OH)<sup>-</sup> и в единичных случаях ионами H<sup>+</sup>, располагающимися в узлах кристаллической решетки. Эта вода прочно удерживается минералами при комнатной температуре, но выделяется при нагревании в температурном интервале 300-1300 °С. Выделение воды сопровождается разрушением кристаллической решетки минерала.

Кристаллизационная, или кристаллогидратная вода содержится в минералах (например, в гипсе - Ca(SO)<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O) в виде молекулы H<sub>2</sub>O, которая входит в структуру минерала. Серпентин (хризотил, лизардит или антигорит) не содержит кристаллизационной воды, и поэтому объяснение явления противозносного эффекта от вводимого серпентина в смазочную среду от количества кристаллизационной воды является несостоятельным.

Отличие между компонентами серпентина, скорее всего, заключается в параметрах кристаллической решетки. Рентгенофазовый анализ геомодификаторов показывает, что эти составы бывают двух видов: один содержит в основном 75-80% лизардита и 10-15% хризотила, другой - 10-15% лизардита и 75-80% хризотила.

Все слоистые силикаты состоят из двух сеток  $[Si_2O_5]^2$ , соединенных вместе катионами в компактные пакеты состава  $[Si_4O_{10}]^4$ . Особенностью каждой

сетки  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$  является наличие нескомпенсированного электростатического заряда, обусловленного тем, что с одной стороны сетки из кремнекислородных тетраэдров имеют одну свободную валентность, что определяет появление только на одной стороне сетки тетраэдров отрицательного заряда. В сдвоенных пакетах  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$  отрицательные заряды обеих сеток направлены внутрь пакета и скомпенсированы катионами Mg. Фактически в слоистых пакетах  $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$  между двумя сетками состава  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$  располагается бруситовый слой  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Специфическое строение слоистых силикатов - наличие пакетов, состоящих из гексагональных сеток-слоев, связанных друг с другом очень слабыми связями, определяет и свойства этих минералов: низкую твердость, весьма совершенную спайность и расщепляемость на тонкие пластинки.

Изучение данного явления было организовано в конце 80-х годов прошлого столетия в институте «МеханОбр». Установлено, что данный эффект является следствием разложения серпентина в зоне бурения с дополнительным выделением большого количества тепловой энергии. Вследствие этого наблюдаются разогрев материала шарошки бурового долота, диффузия в него разложившихся элементов минерала и образование композиционной металлокерамической структуры, обладающей высокой твердостью и износостойкостью.

В настоящее время геомодификаторы в основном используют для проведения ремонтно-восстановительных работ техники с большим пробегом в процессе непрерывной эксплуатации, но иногда в целях интенсификации процесса, повышения качества приработки и износостойкости деталей их применяют и на новых двигателях.

Восстановление и упрочнение подвижных соединений геомодификаторами осуществляются за счет формирования на поверхностях трения структур повышенной прочности, подавления процессов водородного изнашивания и охрупчивания металла, повышения термодинамической устойчивости системы «поверхность трения - смазочный материал». Поверхностно-активные вещества (ПАВ) металлокерамического восстановителя после введения их в системы двигателя подготавливают поверхности трения химиче-

ски (катализ) и физически (суперфиниш), очищая их от нагара, оксидов, отложений и т.д. Попадая на поверхности трения вместе с маслом или в составе пластичной смазки, ПАВ инициируют процесс формирования на трущихся поверхностях металлокерамического покрытия с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения. Наряду с образованием на поверхностях трения защитных слоев дополнительно способствуют повышению несущей способности (прочности) масляной пленки. Полимолекулярная система препарата, включающая в себя наноразмерные комплексы (кластеры) органических веществ, структурирует граничную масляную пленку и увеличивает адгезию масла к металлу.

Входящие в состав приработочных присадок (Librifilm Diamond Run In, Fenjn Nanodiamond Green Run и др.) наноалмазы (диаметром 4-6 нм) и кластерный углерод структурируют масляную пленку, увеличивают ее динамическую прочность, действуют на кристаллическую решетку поверхности металла, упрочняя ее, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках и дефиците смазочного материала). В результате сокращается время обкатки и оптимизируется качество трущихся соединений, улучшается работа двигателя, экономятся топливо и масло, а также снижается количество вредных выбросов и облегчается запуск двигателя

Алмазные наночастицы в зависимости от условий применения могут выступать в виде либо тончайшего абразива, либо эффективного модификатора трения. Оказалось, что алмазная шихта (промежуточный продукт получения наноалмазов) чрезвычайно эффективна в виде добавок к моторным и трансмиссионным маслам, консистентным смазкам и смазочно-охлаждающим технологическим средам. Различный набор наночастиц алмазной шихты оказывает сильное структурирующее действие как на поверхности трения, внедряясь в поверхности деталей, армируя ее, так и на смазочный материал, изменяя его характеристики.

Как ни парадоксально, но алмазосодержащая смазочная композиция об-

ладает высокими антифрикционными, противоизносными и противозадирными свойствами наряду с высокой коллоидной стабильностью. Содержание наночастиц в рабочей среде в ничтожных количествах (всего 0,01-0,003 %) обеспечивает мягкую безабразивную приработку деталей двигателей и трансмиссий.

Рассмотренные нанотехнологические препараты автохимии обеспечивают комплекс самых различных положительных характеристик. Они позволяют значительно (в 1,5-2 раза) повысить износостойкость и задиростойкость деталей двигателей, трансмиссии и рулевого управления; сократить продолжительность и улучшить качество приработки поверхностей трения; повысить их межремонтный ресурс до 2 раз; поднять мощность двигателя до 5 % за счет повышения компрессии и снижения потерь на трение; снизить расход топлива и смазочных материалов на 5-10 %; уменьшить вредные выбросы в атмосферу до 2 раз; понизить температуру работающих узлов, уровень шума и вибрации, а также снизить затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт автомобильной техники.

Немаловажным фактором, несомненно, может являться косвенная экономическая эффективность от внедрения ремонтно-восстановительных технологий, получаемая от снижения времени простоя техники, а также ряд субъективных факторов, связанных с более безотказными и комфортными условиями эксплуатации автомобиля.

Препараты на основе наноалмазов изменяют реологические свойства масла и реализуют безабразивную трибохимическую приработку не за счет скалывания и разрушения микрошероховатостей поверхностей трения, а посредством пластифицирования, деформирования (вдавливания) и наклепа микровыступов шероховатости поверхности. При этом в период обкатки обеспечивается экономия топлива до 8 % и моторного масла до 10 %.

Некоторые из известных нанотехнологических препаратов для применения в смазочных материалах представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика нанопрепаратов для моторного масла

Препарат	Производитель: страна, регион	Назначение	Состав, комментарий
Lubrifiilm Diamond Run In	Actex S.A., Швейцария	Ускоренная и качественная приработка деталей после ремонта агрегатов	Состав на основе ультрадисперсных алмазов
Forsan nanoceramics	ОАО «Нанопром», Россия, Москва	Безразборное восстановление соединений двигателя, снижение трения и износа	Металлокерамический комплекс на основе серпентина
Стрибойл	НТЦ «КонверсРесурс», Россия, Москва	Улучшение технических характеристик, снижение вредных выбросов двигателя	Нанодисперсный антифрикционный противоизносный состав
RemeTall	«Fine Metall Powders» Россия, Новосибирск	Восстановление и защита от износа трущихся поверхностей, повышение ресурса двигателя	Нанодобавки на основе нанопорошков металлов
Супротек-Атомиум	ООО «НПТК СУПРОТЕК», Россия, Санкт-Петербург	Безразборное восстановление трущихся поверхностей, снижение вредных выбросов	Нанодобавки к смазочным материалам на основе различных наночастиц
Формула «АВ»	ООО НПП «SintA», Украина, Харьков	Защитно-восстановительные добавки в смазочные материалы	Ультрадисперсные алмазы в смазочных материалах
Fenom Old Chap	ООО «Автомхимпроект», Россия, Зеленоград	Восстановление подвижности поршневых колец, снижение интенсивности изнашивания, коэффициента трения, расхода топлива, масла и т.д.	Синтетическая основа, наноразмерные комплексы органосорбента, полученные по зольгель технологии
Renom Engine	ООО «Автомхимпроект», Россия, Зеленоград	Повышение ресурса и улучшение энергетических показателей двигателя, образование наноструктурированной защитной пленки (твердой смазки)	Дисперсия неабразивных наноалмазов и наночастиц политетрафторэтилена в сложных полиэфирах, антиоксиданты

В ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ имени Н.И. Вавилова» была разработана эксплуатационная присадка к моторному маслу «Кластер-М», представляющая собой седиментационно-устойчивую суспензию смеси наноразмерных частиц дисульфида молибдена и сплава латуни с фосфором.

Сравнительные стендовые испытания партии капитально отремонтированных двигателей с использованием присадки «Кластер-М» проводили на обкаточно-тормозном стенде КИ-5274 ГОСНИТИ. В качестве объекта исследования был выбран дизель А-01М. В результате испытаний было установлено, что данная присадка в составе базового масла привела к снижению момента механических потерь в дизелях к концу испытаний на 15-20 % по сравнению с маслом М-10-Г<sub>2</sub>. Анализ полученных данных показал, что лучшими противоизносными свойствами в отношении пары трения «шейка коленчатого вала - вкладыш» обладает смазочная среда, содержащая присадку «Кластер-М», поскольку давление масла в главной масляной магистрали дизелей, испытанных с применением данной присадки, на 18 % больше, чем у дизелей, испытанных с применением масла М-10-Г<sub>2</sub>.

Расход картерных газов у дизелей, испытанных на масле с присадкой «Кластер-М», в конце испытаний составил 52 л/мин, что на 32 % меньше по сравнению с расходом картерных газов у дизелей, испытанных на масле М-10-Г<sub>2</sub>.

Полученные в результате проведения замеров данные по износу шеек коленчатого вала при испытании двигателей на различных маслах показали, что по сравнению с маслом М-10-Г<sub>2</sub>, не содержащем дополнительно вводимых присадок, смазочная композиция на основе наноразмерных порошкообразных материалов обеспечивает снижение линейного износа шатунных шеек в 1,49 раза, коренных - в 1,35 раза. Взвешивание шатунных и коренных вкладышей коленчатых валов испытываемых дизелей позволило установить, что присадка «Кластер-М» к маслу снизила износ коренных вкладышей в 1,25, шатунных - в 1,29 раза. На основании полученных с помощью спектрального анализа данных можно сделать вывод, что присадка «Кластер-М» к моторному маслу снижает износ ресурсопределяющих сопряжений дизелей А-01М по сравнению с базовым маслом М-10-Г<sub>2</sub> в 2,8 раза.

После окончания стендовых испытаний со всех двигателей снимали регуляторные характеристики. Сравнение полученных характеристик дало возможность судить о степени влияния разработанной присадки на основные технико-экономические параметры двигателя. Анализ полученных зависимостей показал, что дизели, прошедшие испытания на масле с присадкой «Кластер-М», работают эффективнее, чем на масле М-10-Г<sub>2</sub>. При номинальной частоте вращения коленчатого вала средняя эффективная мощность составила 93 кВт, средний удельный расход топлива - 257 г/кВт-ч, и на моторном масле с присадкой «Кластер-М» - соответственно 96 кВт и 242 г/кВт-ч. Таким образом, эффективная мощность дизеля, испытанного на смазочной композиции с присадкой «Кластер-М», увеличилась на 3,2 %, а удельный расход топлива снизился на 6,1 %.

Эффективное влияние присадки «Кластер-М» на антифрикционные и противоизносные свойства моторного масла объясняется образованием на трущихся поверхностях тонких граничных пленок, в которых отдельные компоненты присадки выполняют различные функции. Присутствие в пленках наночастиц дисульфида молибдена, обладающих пластинчатой структурой, приводит к свободному перемещению пластинок этого вещества относительно друг друга, в результате чего уменьшается коэффициент трения, снижается износ и предотвращается повреждение поверхностей деталей. Наличие на поверхностях трения пластичной пленки, состоящей из сплава латуни с фосфором, способствует локализации деформационных процессов в тонком поверхностном слое самой пленки без отделения частиц основного материала.

В ресурсоповышающей технологии, разрабатываемой в АЧГАА, наноматериалы планируется применить в антифрикционных присадках для сокращения износа зубчатых колес и подшипников в трансмиссиях сельскохозяйственных машин. Зубчатые передачи и подшипники качения, применяемые в трансмиссиях сельскохозяйственной техники, являются тяжело нагруженными деталями и узлами. Несмотря на то, что в этих узлах поломки происходят нечасто, они сразу выводят из строя комбайн, трактор или другую сельхозмашину, а ремонт всегда требует снятия с машины тяжелого сложного узла и доставки его в

мастерскую. В полевых условиях случаются пробой картеров различных коробок - масла немедленно вытекают, и машина «обездвигивается». И ввиду того, что транспортировать ее нельзя (чтобы не повредить дорогое содержимое), нередко возникает трудноразрешимая проблема возвращения и строй очень необходимого технического средства.

Хотя в настоящее время имеется большое количество присадок к моторным и трансмиссионным маслам, существенно замедляющих износ деталей двигателей зубьев зубчатых колес, однако механизмы их действия (на уровне специалистов сельхозпроизводства) недостаточно ясны и практически не изучены. В предлагаемом проекте будут разработаны наноприсадки, которые обеспечат снижение износа контактных (зубчатых) пар не менее чем в 1,8-2 раза и сохранение работоспособности зубчатых передач в поврежденных корпусах и картерах в условиях полусухого трения (при утечке масла) в течение 2,5-3 ч.

Максимальная эффективность ремонтно-восстановительных препаратов, основанных на принципе интеллектуальной присадки, проявляется в так называемые критические периоды эксплуатации объекта (пуск-остановка, приработка, перегрузка, перегрев и др.). При нормальной эксплуатации компоненты присадки находятся в своеобразном резерве (депо) и практически не срабатываются. Это связано с наличием периода пассивации поверхностей трения, когда образовавшиеся на них защитные структуры останавливают дальнейшее взаимодействие и срабатывание активных комплексов препарата.

Самые совершенные двигатели внутреннего сгорания тратят от 12 до 20 % топлива на преодоление своих собственных внутренних механических потерь плюс не менее 10 % потерь в трансмиссии, а в сумме до 30 % топлива расходуется на преодоление трения и износа деталей двигателя и трансмиссии. Сотни миллиардов литров топлива сжигаются ежегодно, из них до одной трети - для преодоления внутренних потерь. Этот расход необходимо свести к минимуму. 1% снижения внутренних потерь в машинах и механизмах приводит к экономии миллиардов литров топлива, в воздух не выбрасываются десятки миллиардов кубометров парниковых газов и вредных ве-



ществ. Экономятся миллионы тонн нефти, запасы которой ограничены и невозполняемы.

Ежегодно предприятия во всем мире несут прямые потери от износа машин и механизмов в размере около 1 трлн евро, которые надо постоянно компенсировать, расходуя на это человеческие ресурсы, громадное количество топлива и природных ископаемых, засоряя атмосферу и воду. Необходимо восстанавливать оборудование, станки, инструменты, на которых выпускаются новые узлы и детали взамен изношенных. Решить проблему можно добавлением в масло композиции нанодисперсных порошков в виде состава «АеVIT», производимого ООО «Русская бизнес-компания». Образующаяся в результате использования дисперсная система «масло -нанодисперсные порошки» приобретает свойства самоорганизации и возможность самопроизвольной упорядоченности масла в виде объемных структур субмолекулярных образований, связанных между собой. Эти свойства проявляются в процессе эксплуатации машин и механизмов, причем «параметрами порядка» являются температура, давление, концентрация и размерность частиц и их «организационная» активность. Частицы нанодисперсных порошков, находясь в глубоко неравновесном энергетическом состоянии, обеспечивают способность создания сложных динамически равновесных структур с молекулами дисперсной среды, т. е. маслами. В результате появляется новое поколение масел, способных адаптироваться к различным термодинамическим условиям в узлах трения в единой системе смазки машин и механизмов (например, верхняя часть цилиндра-поршневой группы - подшипники коленчатого вала), а также к прямой и косвенной регенерации в процессе эксплуатации.

В последние годы в зарубежной и отечественной практике для безразборного увеличения ресурса двигателей разработаны так называемые РВС-технологии. Их применяют в Японии, Чехии, Китае, Швеции и других странах. Разработкой этих технологий в последние годы успешно занимаются НАМИ, МАДИ, МГАУ, ГОСНИТИ, ВИИТиН и другие научно-исследовательские и учебные организации.

В качестве РВС-добавок применяют различные препараты. Эффективность использования ремонтно-восстановительных препаратов для безразборного сервиса автотракторной техники подтверждена успешными лабораторными, стендовыми и эксплуатационными испытаниями во многих исследовательских и производственных организациях - ОАО «Ростокинский ремонтный завод», ОАО «Заволжский моторный завод», Московское машиностроительное предприятие им. В.В. Чернышева, АО «Агрегатный завод» (производство агрегатов тракторной техники), ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (ВИМ) РАСХН» и др.

РВС-технологии внедрены в ООО «Промремонтсервис, ООО «Энергоресурс», фирме «АРГО» и других предприятиях. ЧГАУ совместно с ЗАО НПО «Руспромремонт» испытало шесть РВС-продуктов. Наиболее эффективным является препарат ЗАО НПО «Руспромремонт». Его применение на дизеле ЯМЗ-240Б позволило увеличить межремонтный ресурс в 2 раза. Так, использование препарата TRIBOL-D, разработанного ООО «НТУ «Конверсия Ресурс», в который введены наночастицы меди, позволяет увеличить мощность двигателя на 5-15 %, снизить токсичность выхлопа и расход топлива на 7-17 %.

Научно-производственное предприятие «Высокодисперсные металлические порошки» (г. Екатеринбург) занимается созданием специальных ультратонких порошков различных металлов и сплавов для противоизносных и антифрикционных препаратов РиМЕТ, РиМЕТ-Т, «МС-Вымпел».

По технологии РиМЕТ производится металлоплакирующая многоцелевая пластичная смазка «МС Вымпел», в 3-4 раза увеличивающая срок службы узлов трения. Применяется в узлах трения всех типов - подшипниках качения и скольжения, шарнирах, зубчатых передачах. Ее применение исключает возникновение задиров и свариваемость трущихся деталей, обеспечивает антикоррозионную защиту.

Научно-технический центр «Конверс-Ресурс» и концерн «Нано-индустрия» на основе нанотехнологий разработали противоизносный антифрикционный ремонтно-восстановительный состав «Стрибойл». В результате его применения в

узлах трения различного оборудования стоимость обработки узлов и механизмов в 2-3 раза ниже стоимости ремонта по обычным технологиям, обслуживание техники производится в режиме штатной эксплуатации, не требуется специально оборудованного помещения и наличия запчастей. Предлагаемая технология профилактической обработки заменяет плановые ремонты, значительно увеличивает ресурс и межремонтные сроки. Уменьшается потребление электроэнергии и топлива на 10-20 %, снижаются уровни вибрации и шума, а также содержание СО, СН и твердых примесей (сажа) в выхлопных газах двигателей.

Составы «Стрибойл» применяются на автомобильном, железнодорожном, воздушном и водном транспорте; их поставляют в страны Евросоюза, Китай и Турцию.

В ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина разработана металлоплакирующая пластичная смазка «Nano Red Wey» (NRW), содержащая полностью маслорастворимые (металлоорганические) нано-комплексы, а также нано- и микрочастицы соединений пластичных металлов в углеводородной основе.

Механизм действия препаратов заключается в активации их наноконкомплексными кинетической и потенциальной энергии трения. При этом из активных компонентов препаратов и частиц износа на трущихся поверхностях формируется нанокристаллическая самовосстанавливающаяся защитная пленка с минимальным коэффициентом трения и интенсивностью изнашивания. С помощью препаратов восстанавливаются нано- и микродефекты поверхностей трения и их работоспособность. Металлоплакирующая пластичная смазка NRW обеспечивает частичное безразборное восстановление микроизносов подшипников качения, подшипников скольжения и других смазываемых поверхностей, повышение износостойкости деталей. Снижается вероятность появления задиров поверхностей трения, сокращается продолжительность и повышается качество приработки поверхностей трения, повышается задиростойкость и снижается питтинг контактирующих поверхностей в тяжело нагруженных парах трения, понижаются температура работающих узлов, уровни шума и вибрации.

В настоящее время в ООО «Лаборатория триботехнологии» разработаны:

FENOM GREEN - приработочный состав для безабразивной приработки двигателей со снижением начального износа деталей и GREEN RUNFOR FUEL - приработочная присадка к топливу для ускоренной послеремонтной «малоабразивной» приработки двигателей. Приработочные составы типа GREEN RUN реализуют трибохимический, безабразивный механизм приработки металлических поверхностей трения новой или отремонтированной техники. Препараты способствуют снятию в приповерхностном слое металла механического напряжения, снижают приработочные износы, ускоряют приработку, реализуют равновесную шероховатость поверхностей. Результатами являются повышение износостойкости, снижение механических потерь, улучшение эксплуатационных качеств агрегатов техники. Входящие в состав присадки NANODIAMOND GREEN RUN «наноалмазы» структурируют масляную пленку, увеличивают ее динамическую прочность, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках и дефиците смазки).

В Ульяновском высшем военно-техническом училище разработана смазочная композиция, содержащая минеральное масло и олеиновую кислоту, октадецилсульфонат натрия и тетраборат этилендиаммония. Уникальность данной композиции - непрерывный и постоянно усиливающийся эффект комплексного действия поверхностно-активных (ПАВ) и химически активных (ХАВ) веществ. Особое влияние оказывает тетраборат этилендиаммония в виде дисперсного нанопорошка, равномерно распределенного в масле. В результате стендовых испытаний установлено, что предлагаемая композиция сокращает время обкатки двигателей в 3,8 раза, площадь приработки коренных и шатунных вкладышей увеличивается на 78 %, шероховатость поверхности вкладышей уменьшается в 1,5 раза. Проведенные комплексные трибологические и химмотологические исследования предлагаемой композиции подтвердили положительный эффект при внедрении ее в технологический процесс обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Использование смазочной композиции с тетраборатом этилендиаммония в виде нанопорошка позволяет сократить время обкатки в 3,8 раза, а также уменьшить расход топлива в 1,5 раза.

## 4 ТОПЛИВНЫЕ НАНОПРЕПАРАТЫ

Ремонтно-восстановительные препараты для моторного топлива на основе нанотехнологий в основном применяются для повышения эксплуатационных и экологических качеств бензина и дизельного топлива, а также для профилактической очистки систем подачи топлива (карбюраторов, инжекторов, форсунок, топливопроводов), впускных клапанов двигателей, систем выпуска отработавших газов (каталитических нейтрализаторов). Мероприятия, направленные на повышение этих свойств, объединены в понятия химмотология и автохимический тюнинг топлива или двигателя.

Один из основных показателей качества топлива - его удельная теплота сгорания, которая у любого углеводородного топлива не превышает 44 МДж/кг (10,5 тыс. ккал/кг). Для повышения других показателей качества топлива применяются различные добавки, которые в основном направлены на повышение октанового (октан-корректоры) и цетанового (цетан-корректоры) чисел, снижение токсичности и дымности выхлопных газов, частично - на ослабление коррозионных процессов.

Повышение эксплуатационных свойств различных видов топлива может быть достигнуто путем введения различных металлосодержащих добавок. При этом большое значение имеет дисперсность частиц металла: чем они меньше, тем эффективнее их применение, что открывает большие перспективы в использовании металлических наноматериалов в качестве добавок к различным видам топлива. Полезный эффект достигается также при применении в составе добавок современных моющих компонентов, химических нанокатализаторов и регуляторов горения топлива. Чаще используют многокомпонентные композиции, при этом каждый компонент выполняет свою функцию. Так, для повышения эффективности сгорания дизельного топлива можно использовать многокомпонентную композицию, в состав которой входят в качестве одного из компонентов соли магния, кальция, марганца, меди или алюминия, в качестве другого - различные поверхностно-активные вещества, а в качестве третьего - стабилизирующие и солюбилизаци-

рующие (растворяющие) компоненты, которые способствуют хорошей растворимости композиции в дизельном топливе.

Среди различных присадок к дизельным видам топлива определяющее значение имеют такие, которые способствуют окислению топлива и его самовоспламеняемости при оптимальном цетановом числе, что оказывает существенное влияние на пусковые свойства дизеля.

Таким образом, наиболее распространенным и эффективным способом снижения содержания твердых частиц в выхлопных газах, образующихся при работе дизельных двигателей, является использование композиционных антидымных присадок, содержащих ионы марганца и меди с карболовыми и дикарбоновыми кислотами.

На основе этих разработок получены и поставлены на рынок автохимии специальные препараты. Среди них - нанотюнинг-добавка Fenom Street Racing к бензину, которая способствует увеличению мощности, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, очищает топливную систему, стабилизирует работу двигателя. Эффект достигается за счет действия органических и неорганических наноконпонентов добавки, повышающих эффективность горения топлива и его моющие качества.

Препараты компании «Автохимпроект», разработанные на базе нанотехнологий, такие, как Fenom NanoTuning, Fenom Street Racing и Fenom Cetane-Number Booster к бензину и дизельному топливу (для «тюнинга топлива») в составе добавок содержат химические нанокатализаторы и регуляторы горения топлива, что способствует улучшению эксплуатационных свойств топлив.

В то же время эффективность мероприятий автохимического тюнинга зависит от начального технического состояния автомобиля, применяемого препарата и технологии введения добавок, качества проведения ремонтно-восстановительных работ и ряда других причин.

Среди разработок фирмы в области нанотехнологий следует назвать наноочистители. Наноочиститель инжекторов бензинового двигателя Fenom Injector Nanocleaner предназначен для очистки инжекторной системы подачи топ-

лива от нагара и отложений, удаления губчатых образований с впускных клапанов, нагара со стенок камеры сгорания и очистки свечей зажигания. Он способствует легкому запуску и хорошей приемистости двигателя, снижению износа и защите от коррозии деталей, более полному и «чистому» горению бензина - снижению его расхода и уменьшению токсичности выхлопа.

Наноочиститель форсунок дизеля Fenom Diesel Injector Nanocleaner служит для очистки распылителей форсунок, камеры сгорания от нагара и углеродистых отложений, очистки топливной аппаратуры. Он также способствует легкому запуску, восстановлению распыла топлива, повышению мощности и динамики дизеля; снижению износа и защите от коррозии деталей топливного насоса высокого давления и форсунок дизельного двигателя, более полному и «чистому» горению топлива, снижению его расхода и уменьшению токсичности и дымности выхлопных газов.

Оба препарата совместимы с нейтрализаторами отработавших газов. Эффект от их введения достигается за счет действия высокоэффективных моющих компонентов, модификатора трения, нанокатализатора горения.

Наноочиститель каталитического нейтрализатора выхлопных газов Fenom Catalitic Converter Nanocleaner создан для очистки и восстановления каталитической активности нейтрализаторов выхлопных газов бензиновых двигателей, очистки электродов кислородного датчика (лямбда-зонда). Он способствует повышению: приемистости двигателя, снижению расхода топлива и токсичности выхлопа, увеличению срока службы нейтрализатора.

Нейтрализаторам противопоказаны некачественное топливо, попавшие в камеру сгорания масло или антифриз, несгоревшая топливная смесь, засорение. Эффект от использования наноочистителя достигается за счет действия химических регуляторов горения, уменьшающих засорение каналов нейтрализатора, и наноконпонентов (наночастиц металлов), восполняющих каталитическую активность нейтрализатора.

В целом все нанокаталитические добавки (присадки) к бензину и дизельному топливу очищают детали, каналы топливных систем, нейтрализаторы вы-

хлопных газов, повышают энерго-экономические показатели двигателей за счет применения современных моющих компонентов, химических нанокатализаторов и регуляторов горения топлива.

Как показывают результаты лабораторных исследований и эксплуатационных испытаний, применение РВП позволяет получить результат, сравнимый по величине с эффектом от использования специальных методов спортивной доводки двигателя - доработка каналов головки блока цилиндров, изменения фаз газораспределения, уменьшения сопротивления фильтров и т.д. Например, на серийном автомобильном двигателе без каких-либо конструкторских доработок можно получить прирост мощности на 5-7 л.с. (3-5 кВт), экономию расхода топлива и смазочных материалов на 5-10 % и ряд других положительных характеристик.

Для получения наилучшего эффекта при применении РЭП при безразборном сервисе необходимо строго соблюдать требования производителей препаратов во избежание негативных последствий. При этом необходимость того или иного воздействия оценивается на основании результатов технической диагностики обрабатываемых узлов и агрегатов машин и механизмов.

## **5 ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОЛИРОЛИ**

Другим важнейшим сектором практического применения достижений нанотехнологий в автомобильной промышленности является получение прочных и стойких материалов, обладающих самоочищающимися свойствами для лакокрасочных покрытий (ЛКП) автомобилей и другой транспортной техники, зеркал, керамики, текстиля и ряда других целей.

При этом формирование заданной наноструктуры (наноинженерии) поверхности может быть выполнено с помощью нескольких основных технологий:

- создание («черчение») рельефа лазерным лучом или плазменным травлением;
- анодное окисление (алюминия) с последующим покрытием специальными веществами;



- придание формы и создание микрорельефа гравировкой;
- покрытие поверхности слоем металлических кластеров, комплексами «поверхностно-активное вещество - полимер» или трехблочных сополимеров, самоорганизующихся в наноструктуры;
- нанесение дисперсией наночастиц с морфологией, не образующей агломератов.

Последняя технология является наиболее многообещающей, так как позволяет образовывать большое число частиц при минимуме затрат. Подходящими материалами для формирования таких наночастиц являются полимеры, сажа, пирогенные кремниевые кислоты, оксиды железа и диоксид титана.

Одна из основных проблем, которую еще предстоит решить, заключается в том, чтобы после формирования поверхности нанесенные частицы, обладающие новым распределением по размеру и новой структурой, оказались стабильными по отношению к старению и факторам воздействия окружающей среды. Например, ультрафиолетовое излучение может инициировать окисление покрытия, что приводит к гидрофилизации поверхности за счет образования кислородсодержащих групп.

Немецкая фирма «Дуалес Систем Дойчланд АГ» одной из первых представила на проходившей в Ганновере всемирной выставке «ЭКСПО-2000» новую краску для автомобилей, обладающую самоочищающим эффектом: для мойки их (даже сильно загрязненных поверхностей) просто достаточно полить водой.

Более того, в настоящее время имеются разработки на основе нанотехнологий, позволяющие вообще обходиться без воды. На загрязненные поверхности автомобиля из баллона распыляется специальный состав, которой затем растирается салфеткой или полотенцем. В результате не только удаляются образовавшиеся загрязнения, но и осуществляется нанесение защитного самоочищающегося покрытия, остающегося на поверхности более полугода.

Установлено, что любую поверхность можно изменять от супергидрофобных до супергидрофильных свойств с помощью розетки образных частиц пентоксида ванадия ( $V_2O_5$ ), которые легко нанести с помощью струйного прин-

тера (или ввести в основу полироли), и последующего облучения ультрафиолетом. При этом гидрофобные свойства вызываются межслойными воздушными полостями размером 2,1 нм. Ультрафиолет обеспечивает создание пар «электрон-вакансия», в которых в кристаллической решетке «дырки» реагируют с кислородом, образуя на поверхности кислородные вакансии, а электроны восстанавливают от  $V5^+$  до  $V3^+$ . В свою очередь, кислородные вакансии закрываются (поглощаются) водой, делая ее гидрофильной. При длительном нахождении частиц в темноте происходит утрата ими своих гидрофильных свойств за счет замещения воды кислородом.

Начиная с 2003 года легковые автомобили «Mercedes-Benz» серий E, S, CL, SL и SLK покрыты прозрачным лаком с наноразмерными (около 20 нм) керамическими частицами, созданными на основе нанотехнологий, которые в процессе высушивания в лакокрасочном цехе отвердевают, образуя на поверхности лакового покрытия чрезвычайно плотную сетчатую структуру.

Если обычный лак представляет собой длинные молекулярные цепочки связующего вещества с большими расстояниями между перекрестно-сшивающими агентами, то структура нанолака представляет собой разветвленную сеть перекрестных межмолекулярных связей в сочетании с керамическими наночастицами (рисунок 7). Благодаря этому в 3 раза повышается прочность (износостойкость) лака и обеспечивается более интенсивный и долговечный блеск покрытия. Автомобили «Mercedes-Benz» с лакокрасочным покрытием на основе нанотехнологий отмечены наградой на специализированной выставке «Autoceramika» как «самые легкомоющиеся автомобили 2004 года».

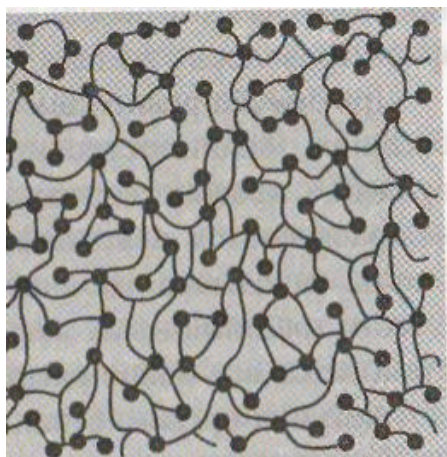


Рисунок 7 - Структура износостойкого слоя лака: разветвленная сеть перекрестных межмолекулярных связей в сочетании с керамическими наночастицами

В настоящее время в области разработки и применения соответствующей нанотехнологической продукции для автомобильной промышленности основная конкуренция развернулась между американскими компаниями «PPG», «DuPont» и «Nanovere», а также частично немецким концерном «BASF».

Так, еще в 2002 году американская компания «PPG «Industries Inc.» представила на автомобильном рынке первое высокоустойчивое керамическое самоочищающееся покрытие - CeramiClear® Clearcoat.

Для самоочищающейся поверхности фирма использует диоксид титана ( $TiO_2$ ). Его свойства таковы, что покрытие из данного вещества не только окисляет и расщепляет грязь, но вдобавок нейтрализует различные запахи и убивает микроорганизмы.

На практике это приводит к тому, что износостойчивость лакового покрытия возрастает - оказалось, что покрытые лаком нового типа машины сохраняют блеск на 40 % дольше, чем окрашенные обычной краской. Такому заключению предшествовали четыре года экспериментов и 150 окрашенных новой краской «тестовых» автомобилей. В сушильной камере при температуре  $140^\circ$  молекулярные цепи «нанолака» вытягиваются, а покрытие становится прочнее «традиционного» в несколько раз. Для повреждения «нанопокртия» потребовалось усилие 20 мН, тогда как обычное деформировалось уже при 7 мН.

Другим направлением использования нанотехнологий в автомобильном машиностроении является исключение экологически вредных красок, содержащих различные растворители, которые выбрасываются в атмосферу во время процесса сушки. Эти проблемы решаются за счет использования порошковых покрытий вместо традиционных жидких покрытий на водной основе, которые становятся все более распространенными, поскольку они не содержат летучих органических соединений.

Как уверяют в компании «DuPont», еще в начале 1990-х годов с активным привлечением последних «нанодостижений» они разработали принципиально новый экологически чистый порошковый материал на водной основе для покраски автомобилей. По словам разработчика, высыхание слоя такой краски при воздействии на него УФ-излучения не превышает десяти секунд.

Аналогичные исследования проводятся и другими конкурирующими фирмами. Так, в 2006 году «PPG» создала собственный порошковый материал Clearcoat с характеристиками стойкости практически на уровне верхних значений для жидких красителей. С тех пор аналогичные покрытия быстро становятся стандартом в автомобильной промышленности.

В настоящее время компания «PPG» работает над самовосстанавливающимся лакокрасочным нанопокрытием, позволяющим осуществлять саморемонт царапин и мелких потертостей (матовых поверхностей), возникающих при повседневной эксплуатации автомобиля, за счет его тепловой активации (УФ-излучения).

Американская компания «Nanovere» также разработала одновременно устойчивую к царапинам и самоочищающуюся краску под названием Zyvere 2K Nanocoating, которая уже была испытана на переднем бампере автомобиля «Cadillac CTS-V». При испытаниях автомобиль на некоторых участках трека разогнался до 320 км/ч, но загрязнений или появления царапин на бампере не наблюдалось.

Новое нанопокрытие из наночастиц диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) для кузовов автомобиля (может также применяться для окраски колесных дисков, самолетов или кораблей), как уверяют разработчики, на 53 % более стойкое к появлению царапин и за счет самоочистки («эффекта лотоса») на 60 % - к образованию на нем различного рода загрязнений (грязь, пыль, масло, вода и лед).

Другим направлением применения нанотехнологий является разработка, представленная нанотехнологами компании «Nissan». Они придумали так называемое «парамагнитное» покрытие, представляющее собой уникальный полимер из частиц оксида железа.

Под воздействием электрического тока эти частицы меняют способность отражать свет, таким образом меняется цвет автомобиля. Цветовая гамма зависит от плотности частиц оксида железа и силы прилагаемого тока (подаваемого на них напряжения.). Изменить цвет машины можно будет одним нажатием на кнопку в любое время, в зависимости от настроения, погоды или времени суток. Например, в ночное время цвет автомобиля можно оставить белым, в снегопад или при интенсивном движении - красным, а при плохом настроении -

темно-серым и т.д. Однако, как только будет выключено зажигание, окраска машины моментально примет свой исходный цвет - белый, что создаст определенные сложности по их идентификации как самими владельцами (например, на парковке), так и службами автоинспекции.

При необходимости «нанопокрытие» сможет также заблокировать проникновение радиосигналов заданных частот в салон автомобиля для защиты от прослушивания со стороны каких-либо спецслужб или конкурентов.

С другой стороны, в процессе эксплуатации автомобиля поверхность лакокрасочного покрытия неизбежно окисляется и повреждается, покрываясь царапинами, микротрещинами, сколами, рисками и т.д. Это результат механических повреждений, воздействий агрессивных веществ, солнечного излучения и перепадов температур. Сохранить лакокрасочное покрытие кузова позволяют полироли и различные средства защиты. Наноструктурированные поверхности изменяют существующий подход к очистке и уходу. Особое место среди них занимают современные разработки в области нанотехнологий, например, нанополироли для лакокрасочного покрытия и остекления автомобиля, в том числе реализующие «эффект лотоса».

Наряду с лакокрасочными покрытиями для обеспечения эффекта самоочистки поверхностей при уходе за автомобилем применяются специальные полироли.

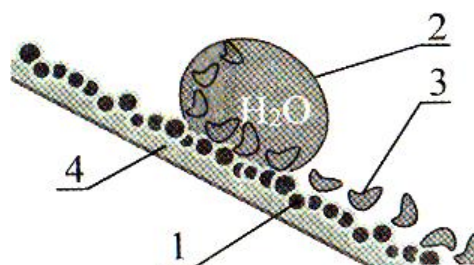
Автомобильная нанополироль, реализующая эффект лотоса, - и большинстве случаев двухкомпонентный препарат автохимии, состоящий из подготовительной жидкости (растворителя) и собственно полироли, представляющий собой смесь частиц наноматериала (алмаз, оксиды титана, кремния, вольфрама и т.д.) в специальной среде из растворителей и наполнителей. Предназначена для оптической маскировки локальных потертостей и царапин, восстановления первоначального цвета и свойств лакокрасочного покрытия или остекления автомобиля, а также придания им самоочищающих свойств.

В 2008 году японскими учеными была создана специальная полироль, полностью состоящая из жидкой неорганической стеклянной структуры, кото-

рая не только защищает автомобиль от царапин во время мойки, но и восстанавливает и сохраняет яркость и насыщенность цвета кузова. На поверхности кузова полироль образует защитную стеклоподобную пленку, которая надежно выдерживает действие различных кислот, грязи и обладает водоотталкивающими свойствами («эффектом лотоса»).

Нанопрепараты для остекления автомобилей выпускаются в виде специальных защитных водоотталкивающих пленок и двухкомпонентных полиролей, состоящих из эффективных растворителей и собственно нанопрепарата.

На рисунке 8 представлен механизм «самоочищения» стекла автомобиля 4 после соответствующей нанотехнологической обработки (нанополиролями или нанопленкой). Поверхность 1 модифицирована таким образом, что капля воды 2 катится по ней, собирая загрязнения 3, тогда как на гладкой поверхности, наоборот, капля воды, сползая, оставляет грязь на месте.



1 - нанопокрытие; 2 — капля жидкости (воды); 3 — загрязнение, 4 — поверхность (стекло, краска, керамика и т.д.)

Рисунок 8 - Схема осуществления «эффекта лотоса»

Гидрофобное покрытие для остекления автомобиля в виде пленок уже используется в автомобильной промышленности при производстве серийных машин - оно наносилось на боковые стекла «Nissan Terrano II». Подобное покрытие, хотя не создавало полноценного водоотталкивающего эффекта, но заметно уменьшало пятно контакта поверхности с каплями воды, благодаря чему во время дождя стекло оставалось достаточно прозрачным.

При применении данной обработки вода, снег и грязь не удерживаются на поверхности стекла, а уносятся встречным потоком воздуха, попавшие на стекло битум, растительные смолы, масляная пленка, прилипшие насекомые и т.д. легко

удаляются дворниками - даже в самых тяжелых случаях. Вода, снег и грязь, которые летят из-под колес встречного транспорта, попадая на боковые стекла, меньше сокращают боковой обзор. Ночная видимость становится существенно лучше, а встречный транспорт ослепляет гораздо меньше. В результате водоотталкивающего эффекта и более прозрачного стекла повышается активная безопасность на дороге. Одновременно снижаются расходы на новые стеклоочистители, так как в среднем они почти в 2 раза реже выполняют свои функции.

В настоящее время ведущими автохимическими концернами мира разрабатываются и уже выпускаются новые нанопрепараты автокосметики с использованием явления лотос-эффекта, таких, как «антидождь - нанозащита стекла» и «антигрязь – нанозащита шин».

В таблице 2 представлены некоторые препараты безразборного сервиса автомобиля на основе наноматериалов, имеющих в настоящее время в открытой продаже.

Таблица 2 – Препараты для безразборного сервиса автомобилей на основе наноматериалов

Наименование	Производитель	Область применения
<b>Топливные нанопрепараты</b>		
Fenom NanoTuning	ООО «Автохимпроект» РФ	Тюнинг бензина
Fenom Diesel Injector Nanocleaner		Очиститель форсунок дизельного двигателя
Fenom Injector Nanocleaner		Очиститель инжектора бензинового двигателя
Fenom Catalytic Converter Nanocleaner		Очиститель нейтрализатора отработавших газов
<b>Нанополироли для лакокрасочных покрытий</b>		
Fenom Lucky Bee Nanocrystal wax	ООО «НПФ «Лаборатория триботехнологии» РФ	Универсальный полироль
Nanox Carnauba Polish	Doctor Wax, США	Полироль с воском карнауба
Diamant-Polish	Pingo GmbH, Германия	Алмазная полироль
Kfz-Lackversiegelung SET je 75 ml	SVM Service Vertrieb & Marketing, Германия	Нанопакет для ЛКП
Res-bona AL 1 (Auto-Lak)	Res-bona Group Partner Nanotechnologie proNAN-Otec, Германия	Нанопродукт для ЛКМ

## **6 ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОГО ПРОДЛЕНИЯ ПОСЛЕРЕМОНТНОГО РЕСУРСА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ**

Долговечность и работоспособность агрегатов мобильной техники во многом определяется качеством смазочной среды. Необходимые приработочные и эксплуатационные свойства масел определяются набором специальных присадок, вводимых в базовую минеральную или синтетическую основу.

Использование же специальных новых нанодобавок ВАФПВД к применяемым в настоящее время маслам позволяет, не ухудшая эксплуатационных параметров масел, обеспечивать формирование на поверхностях трения деталей машин необходимую структуру антифрикционного слоя с высокими триботехническими характеристиками. Таким образом, при наличии высоких противоизносных характеристик современных смазочных материалов, и дополнительно от создаваемого, при введении в смазку специальных нанодобавок, антифрикционного слоя, можно существенно увеличить срок службы ресурсных сопряжений в механизмах машин. При этом создание самих антифрикционных покрытий на поверхностях трения деталей можно осуществлять безразборным способом, обеспечив лишь доставку соответствующих наноматериалов в зоны трения. Доставку наноматериалов целесообразно осуществлять путем введения их в состав смазочных масел, которые всегда присутствуют в узлах трения машин.

Все известные в настоящее время нанодобавки ВАФПВД по компонентному составу и физико-химическим процессам взаимодействия их с трущимися поверхностями, по свойствам защитно-восстановительных покрытий, а также по механизму функционирования в эксплуатационном режиме, по нашему мнению, можно разделить на четыре класса:

- модификаторы трения,
- реметализанты,
- кондиционеры,
- ревитализанты.



Для того чтобы выбрать рациональные наноматериалы для проведения лабораторных исследований, стендовых и производственных испытаний, нами сделана упрощенная классификация наиболее распространенных препаратов, представленная в виде таблицы 2. В таблице указаны основные показатели нанопрепарата, классы и марки, а также некоторые особенности их применения.

Таблица 2 -Классификация нанопрепаратов - восстановительных, антифрикционных и противоизносных добавок (ВАФПД), продлевающих ресурс механизмов и машин

Класс нанопрепаратов	Модификаторы трения	Реметаллизанты	Кондиционеры	Ревитализанты
<b>Металла</b>				
Распространенные марки препаратов Основные характеристики препаратов	Форум, Аспект, Ум х-2.	Римет. Ресурс, Супермет	Феном, RENOM, ER. ENERGY RELEASE, WAGNER ECO-Universal	RVS (PBC), ХАДО, ФОРСАН, СУПРОТЕК, НИОД, ОМКА, РЕАГЕНТ-2000, WAGNER Micro-Ceramic Oil
Основное	Снижение коэффициента трения в 3-4 раза и сил трения в ресурсных сопряжениях	Снижение коэффициента трения в 1,5-2 раза. Частичное восстановление размеров деталей ресурсных сопряжений	Снижение трения в 5-7 раз. Защита от задигов и преждевременного износа ресурсных сопряжений	Снижение трения в 3-5 раз. Восстановление геометрии деталей в зоне износа, компенсация задиров в паре трения деталей ресурсных сопряжений
<b>назначение</b>				
Границы применения по величине износа ДВС	До 30%	До 40 - 50%	До 40%	До 70%
Механизм	Образование антифрикционных и противоизносных пленок на поверхностях деталей трибосопряжениях (сервовитные пленки и другие виды модифицирования поверхностей трибосопряжений)		Образование защитного слоя металлокерамики (МКЗС) на молекулярном уровне с поверхностью детали. Слой до 0.1-0,2 мм. обладает высокой твердостью и износостойкостью	
<b>действия</b>				
Влияние на изменение физико-химических свойств ТСМ	возможно	возможно	отсутствует	отсутствует (плюс)
(минус)			(минус)	

Из таблицы 2 следует, что наиболее эффективными нанопрепаратами являются нанодобавки 3 и 4 класса.

Для более полного представления о препаратах 3 и 4 классов необходимо привести их краткую характеристику.

#### *Нанопрепараты 3 класса.*

Кондиционеры воздействуют непосредственно на металл трущихся поверхностей деталей, создавая защитный (сервовитный) слой. Радикально снижают трение и износ, исключают образование задиров. Используются для обработки как новых (включая период обкатки), так и изношенных агрегатов, в частности ДВС. Эти препараты не меняют физико-механических показателей моторных или трансмиссионных масел, консистентных смазок, топлив или других технологических жидкостей, которые являются лишь носителями для доступа к узлу трения. Кондиционеры металла обеспечивают стойкий противоизносный эффект даже при масляном голодании и в случае утечки масла. Практика применения кондиционеров металла показывает, что кондиционеры позволяют одновременно решать две задачи - понизить трение и износ.

Как показывает анализ применяемости препаратов этого класса, лучшими представителями кондиционеров металла являются ER-Energy Release (США), ФЕНОМ (Россия) и WAGNER (Германия).

Механизм действия препаратов данного класса основан на взаимодействии (адсорбции) их поверхностно-активных компонентов с поверхностями трения. Ионизированные молекулы кондиционеров металла, проникая во внутрь металлической поверхности, изменяют их структурный состав, а следовательно, прочностные и антифрикционные свойства. При этом контактируемые участки покрываются достаточно устойчивыми полимерными и полиэфирными структурами, создавая эффект прочной «масляной шубы», способной исключить непосредственный контакт трущихся соединений между собой.

#### *Нанопрепараты 4 класса.*

Нанопрепараты этого класса модифицируют на поверхностях трения деталей машин самовосстанавливающиеся антифрикционные износостойкие как

стационарные металлокерамические (при использовании РВС, ХАДО, СУПРОТЕК и других добавок), органометаллокерамические («ОМКА-добавка»), так и жидкокристаллические (например, «Реагент-2000») слои.

Уникальность нанопрепаратов-добавок данного класса заключается в том, что эксплуатационный износ поверхностей трения деталей машин компенсируется образованием на поверхностях защитного слоя металлокерамики без разборки, в работающей машине, в режиме штатной эксплуатации и используются они, в основном, для обработки тяжелогруженных агрегатов машин с высокой степенью износа.

Применение этих нанопрепаратов-добавок позволяет не только восстанавливать изношенные сопряжения, но и увеличивать износостойкость поверхностей деталей и их ресурс, обеспечивать экономию ГСМ и энергоресурсов.

Ремонтно-восстановительный состав создан в ЗАО «НПО Руспромремонт» г.Санкт-Петербурга. Состав и способ запатентован И.В. Никитиным. Патент № 2135638. В настоящее время НПО Руспромремонт является ведущим производителем и поставщиком РВС-добавок как на отечественный, так и на зарубежный рынок. Состав постоянно совершенствуется, совершенствуются и РВС-технологии, расширяется сфера и область их применения практически во всех отраслях промышленности, транспорта и т.д.

Сходными по составу, технологиям и областям применения и происхождения являются препараты данного класса: ХАДО, СУПРОТЕК, ФОРСАН, ОМКА, Реагент-2000 и др..

РВС - это мелкодисперсная, многокомпонентная смесь минералов, добавок и катализаторов. РВС в смазках не растворяется, химически нейтрален, ввиду очень малой концентрации практически не изменяет вязкости смазок. Экологически безвреден как в порошке, так и в процессе его переработки. Для донесения РВС до поверхности трения может быть использован любой жидкий носитель (масло, керосин, диз. топливо, вода и т.д.). Эти же жидкие носители обеспечивают удаление с поверхностей трения и контакта продуктов износа и разложения масел в процессе приработки частиц РВС.

Попадая на поверхности трения и контакта работающих механизмов, частицы РВС модифицируются сами и модифицируют поверхности. В результате реакции замещения атомов Mg в узлах кристаллической решетки частиц РВС атомами Fe поверхностного слоя стали или чугуна, создаются новые кристаллы с гораздо более объемной кристаллической решеткой, образующей в своей массе новый металлокерамический защитный слой (МКЗС), поднимающийся над поверхностью пятен контакта и компенсирующий износ деталей. В результате роста МКЗС компенсируются увеличенные в результате износа зазоры, снижается удельное давление и выделение энергии на поверхности сопряжения, прекращается реакция замещения и дальнейший рост металлокерамического защитного слоя.

Полученный металлокерамический защитный слой:

- не имеет четкой границы между собой и металлом-носителем,
  - не чужероден металлу-носителю,
  - имеет одинаковый с металлом-носителем коэффициент линейного и теплового расширения, не скалывается при нагреве-охлаждении,
  - имеет низкий коэффициент трения,
  - температура разрушения -1575 -1600°C, стоек к коррозии,
  - не вступает в реакции замещения, адсорбирует атомарный водород.
- может возобновляться по мере износа проведением дополнительной РВС-обработки.

Как уже упоминалось выше, в настоящее время производится и поступает на рынок большое количество марок нанопрепаратов ВАФПД и каждая фирма-производитель широко и с явными преувеличениями эффективности рекламирует свою продукцию.

Эксплуатация техники в условиях сельского хозяйства имеет свою специфику, которая существенно отличается от условий эксплуатации машин и оборудования в других отраслях народного хозяйства.

В связи с этим специалистам сельхозпредприятий необходимо выдать достоверные рекомендации по выбору рациональных марок наноматериалов для

проведения технического сервиса машин в сельском хозяйстве и разработать методику и технологию их применения, обеспечивающих эффективность.

В течение всего срока службы машин, учитывая техническое состояние агрегатов в разные периоды эксплуатации, и применяя соответствующие классы наноматериалов в эти периоды, можно существенно продлить ресурс агрегатов без их разборки.

Также можно сократить время эксплуатационной обкатки двигателей после капитального ремонта, а за счет сокращения механических потерь может уменьшиться удельный расход топлива и увеличиться эффективная мощность двигателя.

Для существенного сокращения времени обкатки двигателя после ремонта, продления ресурса и снижения расхода топлива в начальный период эксплуатации после обкатки, по нашему мнению, наибольшее предпочтение имеют первые три класса нанопрепаратов (таблица 2): модификаторы трения, реметализанты и кондиционеры металла, обладающие наименьшим коэффициентом трения, а также свойством (3-й класс) исключать задиры в паре трения деталей. В эти классы входят препараты Форум, Римет, ФЕНОМ, ER, WAGNER и др. Эти препараты могут снижать трение в 3 - 7 раз.

Препараты 4-го класса - RVC (PBC), БЕМИТ, СУПРОТЕК, ФОРСАН и др. обладают свойствами восстанавливать геометрию деталей в зоне износа и компенсировать увеличившиеся зазоры в паре трения в результате износа. Эти нанопрепараты также снижают трение в 3 - 5 раз. Предположительно, этот класс препаратов целесообразно применять в процессе штатной эксплуатации машин в интервале допустимых износов деталей и зазоров в ресурсных сопряжениях.

Ресурсные сопряжения деталей в агрегатах трансмиссий тракторов, обработанные наноматериалами в процессе штатной эксплуатации, предположительно должны иметь аналогичные закономерности продления ресурса, как и механизмы ДВС.

## **7 ПРИМЕНЕНИЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПРОДЛЕНИЯ РЕСУРСА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ**

Как показали результаты экспериментальных исследований и опытно-производственных испытаний по продлению ресурса двигателей в третий последующий послеремонтный период рядовой эксплуатации тракторов наиболее эффективным наноматериалом является состав RVS производства НПО «Руспромремонт» г. С.-Петербурга. Многократно проведенная опытно-производственная проверка эффективности RVS-технологии на двигателях ЯМЗ-240 (К-701), ЯМЗ-238НБ (К-700А), Д-243 (МТЗ-82) и др. марок позволили нам отработать технологическую инструкцию по применению нанопрепарата RVS.

Технологическая инструкция рассчитана на применение ее непосредственно в СХП специалистом СХП, имеющим среднетехническое образование по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники

Ремонтно-Восстановительный Состав (RVS) предназначен для продления ресурса двигателей и агрегатов в процессе их штатной эксплуатации. Особенно важно применение RVS для послеремонтного периода эксплуатации двигателей. Ремонтно-Восстановительный Состав (RVS) химически нейтрален и не меняет свойств масел и смазок, в которые он добавляется. Он «работает» на металл в трибосопряжениях.

Ремонтно-Восстановительный состав (RVS), попадая в места трения и износа механизма, за счет термохимических процессов образует и наращивает металл-керамический защитный слой (МКЗС) обладающий низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью - в 2-3 раза выше, чем металл детали.

В процессе обработки механизмов двигателя по RVS-технологии восстанавливаются ресурсные сопряжения и продлевается ресурс

Обработка проводится в два-три приема и, при правильной оценке исходного технического состояния двигателя, послеремонтный срок его эксплуатации может быть продлен в 2-4 раза.

В отличие от присадок в маслах, снижающих износ механизма, Ремонтно

Восстановительный Состав (RVS) восстанавливает размеры деталей в местах износа за счет МКЗС и в дальнейшем не требуется добавления RVS при каждой замене масла.

В двигателях внутреннего сгорания воздействию RVS подвергаются только пары трения, куда подается масло под давлением или разбрызгиванием:

- шейки и вкладыши коленчатого вала;
- гильзы, поршни, поршневые пальцы и поршневые кольца;
- цепь и шестерни привода распределительного вала;
- опоры и кулачки распределительного вала;
- рычаги и толкатели клапанов;
- стержни клапанов и направляющие втулки;
- масляный насос, валы и опоры вспомогательных механизмов;
- механическая часть ТНВД, если она связана с общей системой смазки двигателя;
- механическая часть воздушного компрессора, если она связана с общей системой смазки двигателя;
- подшипники турбокомпрессора, если их смазка связана с общей системой смазки двигателя.

Правильное применение комплектов RVS-Technology™ или RVS master™ позволяет:

- повысить и выровнять компрессию по цилиндрам двигателя;
- поднять давление масла в системе смазки и увеличить наработку или пробег между его заменами;
- снизить расход топлива и токсичность выхлопных газов;
- снизить шумы и вибрации при работе двигателя;
- обеспечить дополнительный ресурс;
- облегчить пуск холодного двигателя.

В упаковках «RVS-Technology™ Engine Treatment» или RVS master™ находятся краткие инструкции по применению Ремонтно-Восстановительных Составов, но в них дана только последовательность самой обработки двигателя.

Выполнение рекомендаций данной инструкции позволит не только увеличить послеремонтный ресурс двигателей, но и обрабатывать двигатели с большим износом до 60 - 70%, вместо 50%, указанных в инструкциях поставщиков нанопрепаратов, и с максимальной эффективностью.

#### 1. Методы оценки технического состояния ДВС.

В последнее время при эксплуатации автотракторной техники владельцы отказываются от планово-предупредительной системы ТО и ремонта и переходят на систему ремонтно-обслуживающих работ по результатам оценки текущего технического состояния двигателя или агрегата.

Этот подход, связанный с более полным использованием ресурса ДВС и агрегатов, позволяет снизить эксплуатационные расходы и простои автотракторной техники.

От прежней системы ТО и ремонта остаются только операции по периодической замене масла и некоторые регулировочные работы.

Необходимость оценки текущего технического состояния двигателей возникает, как правило, из-за:

1. Снижения мощности;
2. Увеличения расхода топлива;
3. Увеличения расхода масла;
4. Появления стука в шатунной группе.

Первый признак, основанный на ощущениях водителя, несколько субъективен, но второй и третий, основанные на статистических данных по описанию топлива и масла, несут достаточно объективную информацию о текущем состоянии ДВС. Особенно важно соотношение расхода масла к расходу топлива.

Для дизелей принимается предельный расход масла на угар не более 1,5% от расхода топлива.

При превышении этого показателя автотракторная техника снимается с эксплуатации для определения объема ремонта.

Примечание: предполагается, что снижение эффективной работы двигателя не связаны с работой топливной системы и газораспределительного механизма.



Обработка двигателей Ремонтно-Восстановительными Соствами позволяет устранить первые три признака неудовлетворительной работы двигателя без разборки в процессе штатной эксплуатации за 50-70 моточасов работы

По четвертому признаку, как правило, проводится капитальный ремонт с полной разборкой, заменой дефектных деталей, шлифовкой или заменой в/вала, заменой цилиндра-поршневой группы.

Практика эксплуатации автотракторной техники показывает, что снижение работоспособности двигателей внутреннего сгорания происходит чаще из-за износа цилиндра-поршневой группы.

В среднем на два-три ремонта цилиндра-поршневой группы приходится одна замена коленчатого вала или шлифовка его на ремонтный размер.

Применение Ремонтно-Восстановительных Составов (RVS) позволяет восстановить работоспособность двигателя и увеличить межремонтный период эксплуатации.

2. Уточнение технических параметров и подготовка двигателя к обработке Ремонтно-Восстановительными Соствами (RVS).

2.1. Проверить наличие утечек масла через сальники и прокладки.

Утечка масла через сальники и прокладки снижает эффективность восстановления ДВС (вместе с утечкой масла уйдет часть ремонтного состава, не успев выполнить функцию восстановления).

2.2. Провести работы в объеме ТО:

проверка ТНВД и регулировка форсунок, включая угол опережения впрыска. Для бензинового двигателя - проверить установку опережения зажигания и регулировки карбюратора;

- регулировка зазоров в газораспределительном механизме.

На многоцилиндровых дизелях замер компрессии рекомендуется проводить на оборотах холостого хода, поочередно переставляя компрессо-метр с цилиндра на цилиндр (прокрутка стартером малоэффективна из-за резкого снижения емкости аккумулятора к концу проверки). Оценка результатов замера компрессии:

-если перепад по цилиндрам дизеля не превышает  $5\text{кг/см}^2$ , а на бензиновом двигателе  $2\text{кг/см}^2$ , то обработка по RVS-технологии таких двигателей будет эффективна.

Полученные данные зафиксировать как исходные перед обработкой.

- Если перепад давлений по цилиндрам имеет большее значение, то основными причинами данного состояния могут быть:

- закоксованы поршневые кольца в канавках поршней;
- поршневые кольца сломаны, возможно обрушены перегородки поршней;
- поршневые кольца потеряли упругость из-за перегрева двигателя;
- замки поршневых колец развернуты в одну сторону (влияние топлива низкого качества или эксплуатация двигателя на ранней установке опережения зажигания или опережения впрыска).

Для уточнения причин низких показателей компрессии необходимо:

- провести очистку поршневых колец во всех цилиндрах, используя препараты «Лавр», МЛ-202 или другие рекомендованные смеси.

Если после очистки поршневых колец показания изменились:

- в большую сторону, причем, если разность показаний компрессии по цилиндрам уменьшилась, то произошло «раскоксовывание» колец и обработка двигателя по RVS-технологии будет результативна;

- остались на прежнем уровне или снизились, то необходимо произвести ревизию поршневой системы (разборка).

В данной ситуации рекомендуется:

- произвести замену поршневых колец (при условии, что зазоры между поршнями и цилиндрами не превышают предельных значений);
- обеспечить наработку двигателя равную или 150-200 моточасов, или пробег 3000-5000 км для прикатки новых поршневых колец по цилиндрам ДВС;
- произвести замену масла с промывкой масляной системы, замену масляного фильтра или очистку центробежного очистителя масла;
- применить Ремонтно-Восстановительные Составы.

Примечание: иногда достаточно после выемки поршней выставить замки

поршневых колец по рекомендации завода, собрать и произвести обработку по RVS-технологии.

Преимущества данного подхода:

1. Данные работы гораздо дешевле традиционного капитального ремонта.
2. Ресурс двигателя после обработки по RVS-технологии составит 2-2,5 тыс моточасов, или пробег автомобиля не менее 70000-100000 км.
3. Для обработки двигателей внутреннего сгорания по RVS-технологии используются комплекты, ориентированные на объем масла в картере ДВС.

Бензиновые двигатели:

1 категория (RVS - 1), G4, Ga4                      Объем моторного масла 2-4 л

2 категория (RVS - 2), G6, Ga6                      Объем моторного масла 4-6 л

Дизельные двигатели:

3 категория (RVS - 3), D4, Di4                      Объем моторного масла 2-4 л

4 категория (RVS - 4), D6, Di6                      Объем моторного масла 4-6 л

6 категория (RVS - 5), D40, Di35                      Объем моторного масла 28-40 л

В скобках указаны старые обозначения препаратов, обозначения Ga и Di относятся к RVS-мастер финского производства.

Если объем масла больше, чем предполагается в комплектах, необходимо подобрать набор из разных комплектов.

Обработка двигателей проводится за два приема с промежуточной наработкой 15-20 моточасов или пробегом 500 - 700 км между обработками при кратковременном характере эксплуатации. При интенсивном (полносменном) режиме эксплуатации, соответственно, через 10-12 моточасов и 350 - 400 км.

Напоминаем, что перед обработкой двигателя по RVS-технологии необходимо провести:

- проверку ТНВД и регулировку форсунок, включая угол опережения впрыска. Для бензинового двигателя - проверить установку опережения зажигания и регулировки карбюратора;
- регулировку зазоров в газораспределительном механизме;

- замену масла в ДВС с промывкой масляной системы;
- промывку центробежного очистителя масла или замену масляного фильтра.

### 3. Первая обработка двигателя.

3.1. Прогреть двигатель до температуры 50-80°C.

3.2. Выдавить содержимое тюбика в бутылку из состава комплекта, тщательно перемешать (взболтать). Смесь RVS-мастер тщательно взболтать.

3.3. Третью часть приготовленной смеси (-70 см<sup>3</sup>), доведенной до однородного состава, залить в масляный картер. На некоторых двигателях маслозаливная горловина имеет в нижней части изгиб, где образуется застойная пена. В этом случае заливать смесь необходимо через отверстие для масляного щупа.

3.4. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.

3.5 Остановить двигатель, взболтать смесь и залить половину оставшейся смеси в масляный картер.

3.6. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.

3.7. Остановить двигатель, взболтать смесь и залить оставшуюся часть в масляный картер.

3.8. Запустить двигатель и обеспечить его работу на холостом ходу в течение 15-20 мин.

3.9. Эксплуатировать автотракторную технику до второй обработки в течение 500-700 км (15-20 моточасов) при кратковременном характере эксплуатации, или через 350-400 (10-12 моточасов) при интенсивном (полноменном) режиме эксплуатации.

Примечание, в процессе эксплуатации автотракторной техники после первой обработки по RVS-технологии возможен подъем числа оборотов х/хода. В данной ситуации необходимо провести регулировку карбюратора или ТНВД.

### 4. Вторая обработка двигателя.

Вторая обработка двигателя проводится аналогично первой.

4.1. Выполнить операции с 3.1 по 3.8.

4.2. Эксплуатировать автотракторную технику после второй обработки в течение 25-35 моточасов, или 1000-1200 км пробега.

4.3. Провести контрольные замеры аналогично п. 2.3.

Если обработка двигателя проводилась на основании учетных данных по повышенному расходу масла на угар, то с данного момента рекомендуется вести уточненный учет эксплуатационных расходов. Объем топлива, необходимый для получения сравнительных данных по работе двигателя до и после обработки, должен составлять не менее 500 литров.

5. Оценка результатов применения RVS-технологии. Ожидаемый результат:

- увеличение компрессии по цилиндрам вплоть до заводских параметров;
- снижение перепада давлений по цилиндрам дизеля 1-1,5 кг/см<sup>2</sup>, а на бензиновом двигателе до 0,5 кг/см<sup>2</sup>;
- снижение эксплуатационного расхода масла на угар до нормы.

При недостаточном эффекте восстановления параметров двигателя необходимо провести третью корректирующую обработку по RVS-технологии

Для третьей обработки используется еще один комплект, как и для предыдущих обработок.

Применение согласно п.п. 4.1. и 4.2., после чего выполнить работы по п. 4.3.

## **8 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В АПК**

1. Увеличение урожайности с/х культур (наноудобрения, биопестициды и т.д.)
2. Повышение продуктивности животных (нанодобавки к кормам, нанолеккарства и т.д.)
3. Водообеспечение (мембранные фильтры, бактерицидные нанопрепараты, опреснение и т.д.)
4. Совершенствование технического сервиса (нанодобавки и присадки. Защитные покрытия, конструкционные материалы и т.д.)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черноиванов В.И. Фундаментальные исследования - основа инженерных прикладных технологий // Труды ГОСНИТИ. М., 2009. Т. 103. 187 с.
2. Индустрия наносистем и материалов: перспективы использования в сельском хозяйстве: научно-аналитический обзор / В.И. Черноиванов, В.В. Бледных, А.Н. Косилов, Е.М. Басарыгина. Москва-Челябинск, 2007. 240 с.
3. Безразборный сервис автомобиля (обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление) / В.И. Балабанов, В.И. Беклемышев, А.Г. Гамидов и др. М.: Известия, 2007. 272 с.
4. Нанотехнологии и наноматериалы в агроинженерии: учебное пособие / М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, В.В. Стрельцов и др.; под ред. академика М.Н. Ерохина. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. 300 с.
5. Черноиванов В.И. Нанотехнологии - основа повышения качества обслуживания и ремонта машин // Применение нанотехнологии и наноматериалов в АПК: сборник докладов. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 96 с.
6. Черноиванов В.И. Стратегия развития технического сервиса АПК // Машинно-технологическая станция. 2003. № 3. С. 2 - 6.
7. Северный А.Э., Есаков Д.И. Параметры работоспособности отечественных зерноуборочных комбайнов и необходимость их улучшения // Машинно-технологическая станция. 2005. № 3.
8. Халфин М.А. Халфин М.А. Состояние и перспективы повышения качества и надежности сельскохозяйственной техники // Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей: материалы международной научно-практической конференции. М.: МИТИ, 2004. С. 281 -290.
9. Модернизация - основа повышения технического уровня эксплуатируемых машин и оборудования / В.И. Черноиванов, А.Э. Северный, М.А. Халфин и др. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2004. 472 с.

10. Ольховацкий А.К., Солоницын Е.В., Солодкина Л.А. Агрегатный ремонт сокращает простои // Сельский механизатор. 2005. № 9. С. 9.
11. Технологические признаки (критерии) предельного состояния основных составных частей сельскохозяйственных тракторов. М.: ГОСНИТИ, 1982.
12. Севостьянов А.П. Качественный ремонт - основа повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники // Вестник ФГОУ МГАУ им. В.П. Горячкина. 2003. Вып. 1. С. 61-66.
13. Халфин М.А. Качество и надежность новой и отремонтированной сельскохозяйственной техники // Машинно-технологическая станция. 1998. № 5. С. 37-41.
14. Ряпич В.Г., Ольховацкий А.К., Солоницын Е.В. Повышение эффективности использования тракторов в СХП «Красноармейское» Челябинской области // Машинно-технологическая станция. 2005. № 4. С. 28-29.
15. Лаптев А.А., Самоцветов А.П., Фридрих П.С. Анализ причин капитального ремонта двигателей // Техника в сельском хозяйстве. 1983. № 10.
16. Храмцов Н.В. Надежность отремонтированных автотракторных двигателей. М.: Росагропромиздат, 1989. 159 с.
17. Денисов А.С. Изменение технического состояния двигателей в межремонтный период // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1982. № 9. С. 47-49.
18. Черноиванов В.И., Северный А.Э., Халфин М.А. и др. Ресурсосбережения при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. Ч. 1. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. 360 с.
19. Баринов А.А. Показатели надежности тракторов и машин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1972. № 5.
20. Халфин М.А., Морозова Н.А. Показатели надежности сельскохозяйственных тракторов и требования к ним // Научн.-техн. информ. сб. М.: Инфо-рАмгроТех, 1991. № 1.

21. Семягин П.В., Евстропов А.С. Сертификация услуг на предприятиях ресурсного обеспечения АПК // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 2. С. 2-3.
22. Кугель Р.А. Трактору надежность и долговечность // Сельский механизатор. 1997. № 11. С. 26-27.
23. Трение, изнашивание, смазка. Справочник. Кн. 1 и 2. М.: Машиностроение, 1978.
24. Гаркунов Д.Н. Триботехника, износ и безызносность. М.: Изд-во МСХА, 2001. 616 с.
25. Инструкции и рекламные проспекты по применению материалов: РВС, ХАДО, Ресурс-2000, ФЕНОМ, РиМет, СУПЕРМЕТ, ФОРСАН и др.
26. Балабанов В.И., Еремин В.А. Препараты для безразборного восстановления деталей // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. 2003. Вып. 1.
27. Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. К вопросу снижения скорости возрастания зазоров в ресурсных сопряжениях деталей в узлах и механизмах с применением наноматериалов в процессе эксплуатации тракторов // Труды ГОСНИТИ. М.: ГОСНИТИ, 2009. Т. 103. С. 111-116.
28. Ольховацкий А.К. Повышение ресурса тракторов применением восстановительных, антифрикционных и противоизносных добавок // Информационный листок № 83-004-06. Челябинск: ЦНТИ, 2006.
29. Нормативы надежности капитально отремонтированных тракторов (для предприятий системы Госкомсельхозтехники СССР). М., ГОСНИТИ, 1983.
30. Баширов Р.М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей. Уфа: БГАУ, 2008. 304 с.
31. Проскурнин С.А., Терентьев В.К., Ольховацкий А.К. Восстановление ресурса и параметров точности металлообрабатывающих станков // Достижения науки - агропромышленному производству: материалы XLVI международной научно-технической конференции. Ч. 2. Челябинск: ЧГАУ, 2007. С. 138-141.



32. Пат. 2135638 Российская Федерация. Способ образования защитного покрытия, избирательно компенсирующего износ поверхностей трения и контакта деталей машин / Никитин И.В. // Бюл. Изобретений. 2004. № 21.

33. Балабанов В.И., Ищенко С.А., Беклемышев В.И. Триботехнология в техническом сервисе машин. Теория и практика эффективной эксплуатации и ремонта машин. М.: Изумруд, 2005. 192 с.

34. Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Повышение ресурса дизельных двигателей, отремонтированных в ЦРМ сельхозпредприятий // Машинно-технологическая станция. 2007. № 1. С. 40-43.

35. Черноиванов В.И., Ольховацкий А.К. Продление ресурса сельхозтехники применением нанотехнологий и модернизацией в процессе ремонта // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 102.

36. Мазалов Ю.А. Методика применения нанодобавок в смазочные материалы для безремонтного продления ресурса ДВС и агрегатов трактора / Ю.А. Мазалов, А.К. Ольховацкий, Р.Ю. Соловьев // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 105. С. 62-73.

37. Мазалов Ю.А., Ольховацкий А.К., Соловьев Р.Ю. О продлении ресурса дизелей тракторов и экономии топлива применением наноматериалов // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 105. С. 111-116.

38. Наноматериалы для продления послеремонтного ресурса тракторных трансмиссий и экономии топлива / В.П. Лялякин. А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман, А.П. Шавкунов // Труды ГОСНИТИ. 2010. Т. 105. С. 53-57.

39. Наномо-дификаторы трения для снижения износа / И.М. Макаров, С.П. Ананьев, М.В. Злоказов, В.А. Короткое // Наука - образование - производство: опыт и перспективы развития: материалы научно-технической конф. Нижний Тагил: НТИ(Ф) УГТУ-УПИ, 2009. Т. 3. 102 с.

40. Ольховацкий А.К., Солодкин Л.Г., Дунаев А.В. Новые технологии восстановления работоспособности агрегатов машин и оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 6.

Учебное пособие

Михальченков Александр Михайлович  
Козарез Ирина Владимировна  
Тюрева Анна Анатольевна

# **НАНОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕМОНТЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

учебное пособие  
для самостоятельной работы обучающихся по очной, очно-заочной  
и заочной формам обучения по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия,  
магистерская программа Технический сервис в АПК

Редактор Павлютина И.П.  
Компьютерная верстка Егорова Т.А.

---

Подписано к печати 8.05.2018 г. Формат 60x84 1/16. Бумага печатная.  
Усл. п.л. 4.30. Тираж 100. Издат. №5919.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета 243365. Брянская  
обл., Выгоничский р-он., с. Кокино, Брянский ГАУ