

**Всероссийский государственный научно-исследовательский  
технологический институт ремонта и эксплуатации  
машинно-тракторного парка**

**ФГБНУ ГОСНИТИ**

**Р.Ю.Соловьев, Д.А.Гительман, А.К. Ольховацкий**

**ЭКСПРЕСС-МЕТОД ВЫБОРА  
РАЦИОНАЛЬНОГО ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТАВА ДЛЯ БЕЗЫЗНОСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

*Технологические рекомендации по техническому сервису ДВС  
для специалистов сервисных предприятий и владельцев  
автотракторной техники и легковых автомобилей*

**Москва, ГОСНИТИ – 2015**

УДК 631.3 – 049.7:620.3  
ББК 40.72:40.1

Рецензент:

И.Г.Голубев, доктор технических наук, профессор

Р.Ю.Соловьев (руководитель работ), Д.А.Гительман, А.К. Ольховацкий  
**Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызносной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: Технологические рекомендации.** – М.: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015 – 50 с.

Приведены результаты работы сектора № 18 ГОСНИТИ с 2005 по 2015 годы. Рекомендации посвящены ремонтно-восстановительным препаратам, повышающим эксплуатационную надежность ДВС. Приведен экспресс-метод выбора рациональных трибопрепаратов для безызносной эксплуатации автотракторных двигателей. Представлены некоторые результаты экспериментальных триботехнических исследований трибопрепаратов и технологические рекомендации по безразборному ремонту двигателей применением трибопрепарата Wagner. Показана технико-экономическая эффективность нетрадиционного метода повышения безотказности и долговечности ДВС.

Предназначено для специалистов технического сервиса и собственников автотранспортных средств, а также для студентов инженерных факультетов сельскохозяйственных вузов.

ISBN \_\_\_\_\_

УДК 631.3 – 049.7:620.3  
ББК 40.72:40.1

© ФГБНУ ГОСНИТИ

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Классификация триботехнических составов – добавок к моторным маслам	7
2 Экспресс-метод выбора рационального трибопрепарата в составе моторного масла для безызносной эксплуатации автотракторных двигателей	13
2.1 Теоретические предпосылки по разработке экспресс-метода выбора рационального трибопрепарата для безызносной эксплуатации автотракторных двигателей	15
2.2 Экспериментальные исследования по выбору рационального трибопрепарата экспресс-методом	23
2.3 Экспериментальные исследования по доказательству достоверности экспресс-метода выбора рациональной трибодобавки	29
2.3.1 Методика проверки достоверности экспресс-метода по коэффициенту трения рационального трибопрепарата в ресурсном сопряжении поршневое кольцо – зеркало цилиндра	29
2.3.2 Методика проверки достоверности экспресс-метода по коэффициенту трения рационального трибопрепарата в ресурсном сопряжении автофрикционный слой вкладыша – шейка коленчатого вала	31
2.3.3 Методика стендовых испытаний дизеля Д240	32
2.3.4 Результаты исследования и технологические рекомендации по безызносной эксплуатации автотракторных двигателей	34
2.3.5 Результаты проверки эффективности рационального трибопрепарата фирмы Wagner при испытании дизеля Д240 на стенде	38
2.3.6 Результаты проверки эффективности трибоматериалов Wagner при помощи стендовых испытаний коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160 производства ОАО «НПК Уралвагонзавод»	39
2.3.7 Мониторинг результатов проверки эффективности применения рациональных трибоматериалов по безызносной эксплуатации ДВС	41
3 Технико-экономическая эффективность безызносной эксплуатации ДВС	43
3.1 Составляющие повышения качества и эффективности безразборного ремонта	43
3.2 Экономический эффект от применения трибопрепарата Wagner на примере двигателя трактора МТЗ	46
Литература	49



## ВВЕДЕНИЕ

Существующие традиционные технологии ремонта двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на предприятиях технического сервиса не отвечают современным требованиям, предъявляемым к ресурсу (долговечности) и безотказности. Выход здесь один – это использование новых высокоэффективных технологий. Одной из них, наиболее простой, доступной для владельцев техники и легковых автомобилей, и в тоже время выгодной с экономической точки зрения является технология безразборного ремонта машин. Эта технология заключается в том, что при введении специальных добавок в масло в узлах трения механизма вместо износа может происходить либо обратный процесс, либо на порядок уменьшится скорость изнашивания ресурсных деталей. При этом на рабочих поверхностях деталей происходит образование слоев с высокой износостойкостью и аномально малым коэффициентом трения. Таким образом, можно фактически обеспечить безыносную эксплуатацию техники.

Опыт применения триботехнических составов в технике, в том числе и для двигателей внутреннего сгорания, показывает существенный положительный эффект, состоящий в увеличении безремонтного пробега автомобилей и, что особенно актуально, в увеличении межремонтного ресурса ДВС, и снижении эксплуатационных затрат предприятия.

Традиционная технология технического обслуживания и ремонта машин требует наличия сложного специализированного оборудования и высококвалифицированного персонала. В настоящее время состояние ремонтно-технологического оборудования на многих предприятиях технического сервиса и ремонтных участках владельцев техники не могут обеспечить соответствующие технические требования при выполнении сложных операций по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту ДВС.

В то же время существует несколько достаточно простых способов сгладить остроту ситуации с обеспечением существенного продления работоспособности ДВС. Современное материаловедение располагает технико-экономически эффективными методами и технологиями выполнения безремонтных способов, которые позволяют обходиться без громоздкого технологического оборудования с соответствующим штатом обслуживающего персонала, снизить требования к квалификации исполнителей работ и дают многие другие преимущества [1, 2, 3, 4].

Однако нельзя путать между собой добавки и присадки. Под термином «Добавка» принято считать продукт различной природы и состава, как правило, неорганический, разбавляемый в масле, и не изменяющий каких-либо свойств масла. Масло служит лишь носителем ревитализанта (лат. *vita* — жизнь) в зону трения. «Присадка» к маслу — препарат органической природы, вводимый в базовое масло для создания товарного смазочного масла. Присадки, улучшая качество масла, не создают защитного слоя на поверхностях деталей, а добавки, взаимодействуя с поверхностями деталей, создают видимую пленку или даже слой [2, 3, 4].

Нетрадиционный безразборный метод ремонта повышает технические характеристики узлов и агрегатов изнашиваемой техники, а в ряде случаев достигаются номинальные значения, а иногда и выше. Полученные результаты соответствует текущему, а в ряде случаев и капитальному, ремонту ДВС, хотя в данном случае отсутствует обязательная для этих видов ремонта разборка двигателя, дефектация и замена изношенных деталей. Здесь ремонт выполняется без разборки машин, оборудования или их агрегатов в режиме штатной эксплуатации.

Российскому потребителю для «Безразборного ремонта» узлов трения предлагается большой ассортимент добавок к смазочным материалам (более 200 марок) как отечественного, так и зарубежного производства. Однако рядовому потребителю сложно разобраться в представленном на рынке их многообразии. Информация о препаратах

представлена преимущественно рекламными проспектами фирм-производителей ремонтно-восстановительных и профилактических составов. Порой она некорректна, а в отдельных случаях не подтверждается практикой. Недостаток объективной информации, недоверие ко всему новому, наличие низкокачественных составов, отдаленность разработчиков от регионов с большим количеством эксплуатируемой техники тормозит расширение применения нетрадиционного метода увеличения ресурса автомобилей и другой техники.

Авторы надеются, что данное издание привлечет внимание специалистов по техническому сервису и владельцев автотракторной техники к нетрадиционной триботехнике и предлагаемым к применению рекомендациям, существенно повышающим долговечность и безотказность ДВС.

## **1 Классификация триботехнических составов – добавок к моторным маслам**

Создание условий для процессов трения деталей в узлах и механизмах, повышающих технические характеристики ресурсных сопряжений, может быть достигнуто двумя принципиально различными способами: путем воздействия на трибосреду или же на сами поверхности трения [3, 4].

Воздействие на трибосреду осуществляют применением присадок для улучшения рабочих свойств смазки на приемлемом уровне в течение заданного ресурса узлов трения. К настоящему времени разработана и промышленностью выпускается очень большая номенклатура присадок для большинства марок смазочных масел. Практически все моторные и трансмиссионные масла содержат те или иные присадки в объеме до 20 %. Однако, возможности повышения качества масел присадками уже исчерпаны.

Воздействия на поверхности трения деталей осуществляют способами создания защитной пленки применением совершенно других препаратов как органической, так и неорганической природы, которые называют добавками или триботехническими составами [4]. Добавки природного происхождения называют геомодификаторами (ГМТ – минеральный модификатор трения)<sup>1</sup>. Добавки вводят в масла не при изготовлении смазок, а в условиях эксплуатации, при техническом обслуживании или текущем ремонте ДВС и в существенно меньшем количестве (0,01%...0,05%).

Кроме того, добавки, являясь обычно инертными веществами, почти не взаимодействуют с маслами, вследствие чего практически не изменяют их свойств. В данном случае масла являются лишь средством их доставки к месту сопряжения деталей. Добавки проявляют свое действие только в

---

<sup>1</sup> В связи с отсутствием в техническом сервисе машин принятой терминологии добавок, в работе могут использоваться термины: трибопрепараты, трибоматериалы, трибодобавки, триботехнические составы, ремонтно-восстановительные составы, наноматериалы, нанодобавки и др.

процессе трения сопряжений, только при соответствующих нагрузке и температуре, в течение определенного, порой длительного, времени.

По механизму воздействия на поверхности трения современные добавки можно отнести к двум видам. Одни образуют на поверхностях деталей недолговечные антифрикционные пленки, в основном, без участия процессов трения. В зависимости от состава добавок фрикционная поверхность может плакироваться полимерной, металлической или пленкой сложного состава в результате физической адгезии, электроосаждения, а у химически активных добавок – в результате хемосорбции. Другие добавки, на основе ГМТ, образуют более долговечные антифрикционные пленки, но только в процессе трения, частично компенсируя износ трущихся поверхностей деталей, частично восстанавливая геометрию их поверхностей. Механизм действия ГМТ в настоящее время изучен не достаточно. Как по механизму воздействия, так и по составу образуемого антифрикционного покрытия известны противоречивые суждения.

В целом, основные, положительно зарекомендовавшие себя добавки отечественного и импортного производства, по составу, а отсюда по физхимии трибопроцессов и свойствам их покрытий можно классифицировать на такие группы [3, 4]:

а) масляные суспензии высокодисперсных порошков сплавов мягких металлов (Cu, Pb, Sn, Ag, Zn, Au) и их сплавов: например, составы марок Кластер, РиМЕТ с их многими разновидностями, Ресурс-Дизель, а также аналогичные импортные (пленкообразующие) добавки. Эти препараты без участия процессов трения, на основе осаждения меди и других мягких металлов образуют недолговечные мягкие пленки на поверхностях стальных деталей;

б) масляные растворы органических солей мягких металлов (нафтеновых кислот, жирных амидов, эфиров жирных кислот и спиртов, глицерина): марки МКФ-8, МКФ-18, МКФ-18У, МКФ-18НТ, Валена, несколько препаратов Renom для двигателей и трансмиссий, СУРМ,

НИКА, УРАЛ, Сомет, ВелАП, Стимул-1, МПП ИГСХА-ТС, импортные Remetallisant Moteur, Lubrifilm с их аналогами и др. Они плакируют пленки мягких металлов на поверхности стальных деталей даже без участия процессов трения; их действие на основе электролитического осаждения металлов на железе всех чистых поверхностей недолговечно, как и у препаратов группы а);

в) ранее известные фторорганические препараты на основе политетрафторэтилена (или тефлона) и его многочисленных аналогов, образующие физической адсорбцией, без влияния процессов трения временные полимерные пленки: Форум, Аспект-модификатор, Универсальный модификатор, PMF-200, Slider-2000, SLIK 50 и другие отечественные и импортные. Эти препараты формируют пленки не только в сопряжениях трения, но и на других поверхностях деталей агрегатов, в т.ч. в масляных каналах, сужая или закупоривая их. Производство препаратов на основе тефлона (PTFE) зарубежными фирмами с начала 2000-х годов ограничено или прекращено;

г) химически активные препараты – галогенированные (по фтору, хлору, йоду) производные углеводородов, например, на основе хлорпарафинов (марки ER, SMT, SMT-2, Dura Lube, отечественный Fenom и их разновидности), а также соединения на основе серы и фосфора и многие другие, состав которых зачастую не раскрывается и их трудно классифицировать. Хемосорбция этих препаратов модифицирует на небольшую глубину поверхности деталей, временно придавая сопряжениям трения высокие антифрикционные свойства;

д) эпиламы и различные фторПАВ-препараты: промышленные типа 6СФК-180-05 и другие. Эти препараты хемосорбцией формируют на глубину до 40 Å защитный слой фторидов железа, а адсорбцией на поверхности деталей образуют «молекулярный ворс» высотой до 40-80 Å, удерживая в себе компоненты смазки.

е) органические вещества с необычайно высокой адгезией к металлическим поверхностям, создающие на них прочный защитный

«молекулярный ворс». Это серия препаратов Энергия 3000 (эпиламоподобный препарат без фтора), а также «Микро ХЗ» для применения в различных узлах, систем смазки, топливоподачи, гидравлики. Эти трибопрепараты мгновенно снижают трение, повышают нагрузочную способность сопряжений до задира более чем в 5 раз, снижают износ на два порядка, также, как и комплект препаратов фирмы Wagner;

ж) высокодисперсные порошки природных минералов с удельной энергоплотностью (серпентины), их масляные суспензии или гели. Российские препараты РВС, НИОД, АРТ, ТСК-М, СУПРОТЕК, Живой металл, RUTEC-reanimator, МЕГАФОРС, ЭДИАЛ, РВД, ХАДО, ТРИБО, SUPRO, Motor doctor и др.

В Японии с 2005 г. производится несколько серпентиновых трибопрепаратов, созданных совместно с НПО «Руспромремонт» марок RVS Technology и MRS Technology (MRS – Metal Re-crystallization Catalist, METARIZER EX (Metal surface treatment), Metallion Power chip P250, Metallizer professional service.

Эти препараты обеспечивают в процессе трения образование внешней прочной антифрикционной пленки толщиной от долей до десятков микрон. Отличительными свойствами РВС-покрытий является высокая чистота их светлой поверхности, прозрачность, твердость, слоистость, маслофильность, повышенное (от 10 до 300 Ом/см) электрическое сопротивление;

з) трибопрепараты на основе масляных суспензий ультрадисперсных алмазов: Украинские (г. Харьков) и Белорусские (г. Минск, ООО «Синта») аналоги (Формула В, Формула АВ, Формула АР, Энергия алмазов), Красноярский КАРАТ-5, Дзержинский Карат-М, Зеленоградские разновидности препаратов Nanodiamond Green Run и их зарубежные предшественники 60-70-х годов из Англии и Голландии.

Серия алмазосодержащих добавок марки «Формула-В» может выполнять как профилактические, так и ремонтно-восстановительные

функции. Ремонтно-восстановительные материалы, имеющие пленкообразующие элементы, полученные многоступенчатым синтезом, формируют антифрикционные покрытия с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью, частично залечивая повреждения поверхностей трения. Эти составы апробированы в разных маслах, работающих в широком диапазоне нагрузок, скоростей, температур.

и) трибополимеробразующие добавки к маслам и смазкам, например, ЭФ-357. Здесь поверхностная антифрикционная пленка образуется полимеризацией непредельных мономеров трибопрепарата каталитическим влиянием обнажаемых трением ювенильных поверхностей деталей. Пленка удерживается физической адсорбцией полимера, которая не велика при малой концентрации добавки. Но антифрикционные свойства пленки, как показано в ИМАШ РАН (г. Москва), эффективны;

к) комплексные препараты, состав и механизм действия которых не раскрывается, например, группа весьма эффективных препаратов фирмы Wagner и некоторые другие. Препараты Wagner обеспечивают многократное повышение нагрузки до задира, а добавление в них высокодисперсной керамики еще больше повышает их эффективность. В эту группу входят трибопрепараты на основе серпентинов и органических добавок - антифрикционная ресурсо-восстанавливающая композиция (АРВК), разработанная в ИМАШ РАН с трибополимеробразующим препаратом ЭФ-357, в которой вначале срабатывает органическая компонента и сразу обеспечивает образование временной защитной полимолекулярной пленки, а позднее - серпентиновая компонента и образуется, предположительно, органо-минеральное покрытие. К этим препаратам также относятся многокомпонентный «Forsan», трехкомпонентный состав «Реагент-2000» с графитоалмазной шихтой, сложный состав ОМКА, ряд препаратов на основе солей меди жирных кислот с добавкой серпентина, такие как Стрибойл, «Конверс-Ресурс», «Моторвита» Ивановского химико-технологического института, а также

другие, где предположительно, вначале осаждается медь, а затем работает серпентин.

## **2 Экспресс-метод выбора рационального трибопрепарата в составе моторного масла для безыносной эксплуатации автотракторных двигателей**

*Традиционные методы, основанные на проведении триботехнических поисковых исследований*

1) Традиционные методы поисковых исследований, основанные на применении специальных износных машин и приборов позволяют глубоко исследовать закономерности изнашивания деталей в различных условиях трения, включая триботехнические составы в моторном масле, а также выявить и объяснить многие другие результаты исследования сложного процесса трения и изнашивания деталей при выборе рациональной марки добавки. Эти методы поисковых исследований по определению эффективных трибоматериалов требуют сложного дорогостоящего научного оборудования, высокой квалификации специалистов, а также значительных затрат времени и средств. Эти методы применимы в лабораторных условиях НИИ и ВУЗов [4].

2) Метод выбора рационального триботехнического состава в зависимости от текущего технического состояния ДВС, определяемого по анализу моторного масла. Известно, что параметры моторного масла и текущее техническое состояние двигателей имеют существенную взаимосвязь [4]. Исследованиями установлена правомерность применения в качестве элементов-индикаторов следующих показателей, определенных при анализе проб работающего масла двигателей:

- железо – детали цилиндропоршневой группы, изготовленные из

чугуна или стали (поршни, втулки цилиндров, поршневые кольца, поршневые пальцы), стальные шестерни приводов; некоторые детали механизма газораспределения и топливной системы (кулачки, толкатели и проч.); коленчатый, распределительный и другие валы и т.д.;

- медь – бронзовые подшипники;
- алюминий – поршни, подшипники на алюминиевой основе;
- свинец, олово, сурьма – подшипники;
- хром – в основном, покрытие верхних поршневых колец, может попадать в масло из системы охлаждения, при применении в ней хромпика;
- кремний – главный источник попадания кремния в масло – пыль, в ней содержится много минералов на его основе ( $SiO_2$  и т.п.); кремний присутствует и в сплавах, присадках, причем иногда в значительных количествах. Например, алюминиевый сплав, из которого изготовлены поршни некоторых марок ДВС.

Температура вспышки, содержание нерастворимых примесей или общее загрязнение масла, щелочное число, содержание воды в масле и вязкость масла также могут быть индикаторами показателей моторного масла и технического состояния ДВС.

Для реализации безыносной эксплуатации ДВС метод выбора рационального триботехнического состава по техническому состоянию, определяемого по анализу моторного масла возможен для применения только в крупных транспортных предприятиях и крупных предприятиях других отраслей – владельцев подвижного состава, имеющих специализированные лаборатории по контролю показателей работающего моторного масла.

Для многочисленных малых предприятий по техническому сервису ДВС и индивидуальных собственников легкового автотранспорта (маршрутные такси и прочее) необходимо разработать доступный экспресс-метод выбора рациональной марки добавки в моторное масло, как инструмент для массового использования, с помощью которого гарантировано можно обеспечить увеличение ресурса ДВС в два и более

раза применением эффективного триботехнического состава, как для новых машин, так и для машин после ремонта.

Применение рационального трибопрепарата для повышения долговечности особенно актуально для ДВС после капитального ремонта, ресурс которого ниже в 2-3 раза и более по сравнению с новыми двигателями.

## **2.1 Теоретические предпосылки по разработке экспресс-метода выбора рационального трибопрепарата для безыносной эксплуатации автотракторных двигателей**

На основе анализа большого количества литературных источников и результатов собственных предварительных лабораторных триботехнических исследований трибодобавок в составе моторных и трансмиссионных масел, с учетом закономерностей изнашивания деталей, нами выдвинуты теоретические предпосылки о возможности сокращения периода эксплуатационной обкатки и увеличения ресурса ДВС, особенно послеремонтного ресурса машин.

В настоящее время фирмы, производящие более 200 марок наноматериалов или трибопрепаратов и поставляющие их на рынок, выдвигают свои гипотезы повышения долговечности механизмов, основанные на образовании антифрикционной пленки либо защитного противоизносного слоя, либо модифицирования поверхности детали, либо образования других эффектов продлевающих ресурс механизмов. Поэтому выбрать наиболее эффективный трибопрепарат весьма затруднительно.

Необходимо отметить, что создание теории увеличения ресурса ДВС и механизмов машин применением наноматериалов находится в стадии эксперимента и обсуждения, несмотря на достигнутую в отдельных конкретных механизмах высокую эффективность использования некоторых марок, установленных эмпирически.

В предлагаемых в данном разделе предпосылках по механизму изнашивания и образования задира, объясняющего повышение долговечности и безотказности ресурсных сопряжений применением наноматериалов были проанализированы и использованы ранее установленные закономерности и нижеследующие данные [4, 5, 6]. Приведем некоторые из них:

- установлено, что 1 гр. нанопорошка имеет суммарную площадь 300...400 м<sup>2</sup>;

- выявлены размеры критических диаметров наноматериалов, при которых существенно изменяются физические свойства. Критические диаметры для различных наноматериалов могут изменяться от 10 до 100 нанометров [5, 6];

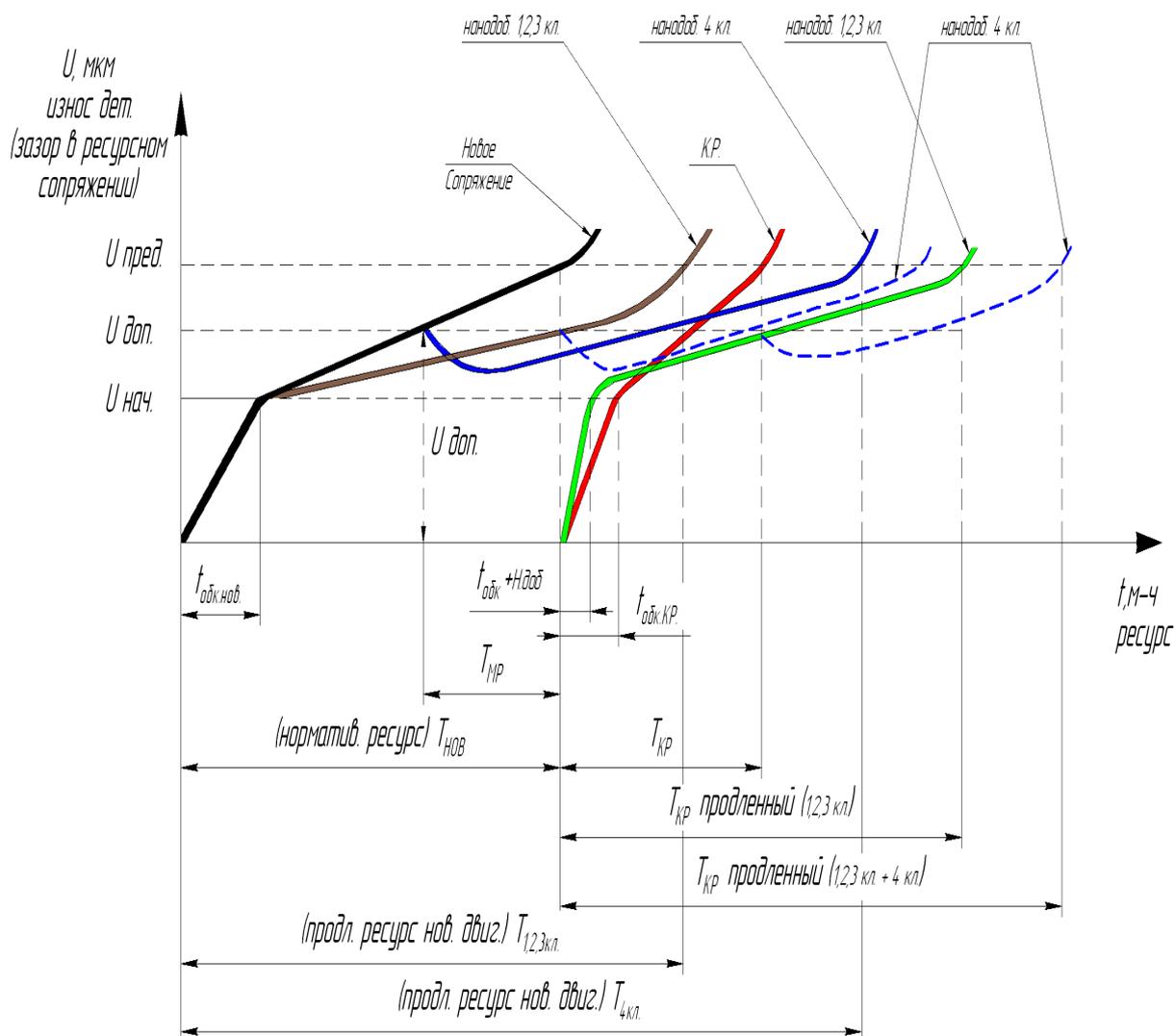
- при размере дисперсных частиц более  $d_{кр}$ . свойства вещества определяются законами классической физики, а при меньшем размере начинают действовать законы квантовой механики. Дисперсная частица переходит в новое качество, а это означает, что уменьшение размеров дисперсных элементов структуры менее  $d_{кр}$ . позволяет многократно улучшать свойства материала [6]. Это объясняется тем, что силовое поле атомов, расположенных на поверхности дисперсных частиц, резко отличается от энергетического состояния атомов в его объеме. Внутренние атомы испытывают равномерное воздействие окружающих атомов и равнодействующая сил атомарного воздействия практически равна нулю. Атомы на поверхности раздела фаз имеют неуравновешенные взаимодействия с другими атомами свободные валентности. Влияние свободной валентности внешних атомов на свойства вещества начинает преобладать над влиянием внутренних атомов, т.е. оно приобретает другие свойства, отличающиеся от свойств вещества в макрообразце. В данном случае количественная разница в размерах наночастиц приводит к качественному изменению свойств вещества [6].

На основании вышеизложенных результатов фундаментальных исследований можно сформулировать предположительно гипотезу

образования модифицированного слоя или защитной антифрикционной пленки в трибоузле. Наночастицы в составе потока смазочного материала и взаимного перемещения сопрягаемых деталей под нагрузкой быстро заполняют углубления шероховатой поверхности шлифованных деталей. В рабочем зазоре трибоузла под действием высокой мгновенной температуры и удельного давления в точках контакта за счет сил адсорбции, сил молекулярного взаимодействия и возможно магнитных сил происходит модифицирование поверхностей трения. Нельзя исключать и возможность образования защитной сервовитной пленки. При этом в десятки и сотни раз увеличивается фактическая площадь контакта в трибоузле, уменьшается коэффициент трения и снижается температура в зоне трения. В результате чего существенно снижается интенсивность изнашивания деталей, увеличивается ресурс и повышается безотказность ресурсных сопряжений ДВС.

На основании вышеизложенных гипотез и положений в данном разделе сделана попытка теоретически обосновать и разработать метод диагностики и выбора рационального наноматериала для повышения безотказности и долговечности автотракторных двигателей.

Вышеприведенное обсуждение и гипотезы по повышению долговечности ДВС применением триботехнических составов, а также на основании результатов изучения причин образования задиров в ресурсных сопряжениях ДВС и анализа свойств большого количества марок трибоматериалов, которые представлены в предыдущем разделе, а также на основании результатов проведенных предварительных триботехнических экспериментов, можно выдвинуть теоретические предпосылки о возможности повышения долговечности и безотказности ДВС в доремонтных и особенно в межремонтный период. Эти предпосылки можно представить в виде схемы на рисунке 1.



U нач. - начальный зазор (износ) ресурсного сопряжения;  
 U пред. – предельный зазор (износ); U доп. - допустимый зазор (износ);

$t_{обк.нов.}$  - время обкатки нового двигателя;  $t_{обк.кр.}$  - время обкатки двигателя

при капитальном ремонте;  $t_{обк.+Н.доб.}$  - время обкатки двигателя при КР с

применением нанодобавки; T - межремонтный ресурс

Рисунок 1. Схема продления ресурса ДВС применением наноматериалов

Из рисунка 1 следует, что применением трибоматериалов различных классов в составе моторного масла предположительно можно существенно повысить как доремонтную, для новых двигателей, так и послеремонтную долговечность за счет уменьшения интенсивности изнашивания деталей ДВС, а также сократить период эксплуатационной обкатки за счет

снижения коэффициента трения в ресурсных сопряжениях. Классы трибопрепаратов приведены в таблице 1 [12].

Таблица 1

Классификация нанопрепаратов,  
продлевающих ресурс механизмов и машин

Класс нанопрепаратов	Модификаторы трения	Реметализанты	Кондиционеры металла	Ревитализанты
Распространенные марки нанодобавок	Ф о р у м , Аспект, Умх-2 и др.	Римет, Ресурс, Супермет и др.	Ф е н о м , RENOM, ER, E N E R G Y RELEASE, WAGNER и др.	RVS (PBC), ХАДО, Ф О Р С А Н , СУПРОТЕК, НИОД, О М К А , РЕАГЕНТ-2000 и др.

Очевидно, что основными критериями при выборе рациональных трибопрепаратов являются для эксплуатационной обкатки ДВС - гарантированное исключение образования задиров, а для повышения долговечности - минимальная интенсивность изнашивания деталей в ресурсных сопряжениях в режиме штатной эксплуатации.

Обосновать разработку содержания и конструкцию устройства экспресс-метода по диагностике и выбору рационального трибопрепарата (наноматериала) для безыносной эксплуатации ДВС - это сложная многофакторная задача.

Выше было уже сказано, что традиционные триботехнические исследования по выбору рационального наноматериала являются трудоемкими и дорогостоящими, так как требуют наличия специального лабораторного оборудования для износных исследований, а испытания нанопрепаратов по износу образцов являются весьма продолжительными.

В данной работе поставлена задача разработать такой способ выбора рационального наноматериала, который отвечал бы нижеследующим требованиям:

- простота метода и возможность его в любых условиях (офисах, на производстве в цехах, кабинетах учебных заведений и прочее);

- затраты времени должны быть минимальными (не более 0,5 часа) для определения наиболее эффективного триботехнического состава;

- метод должен быть основан на использовании переносного, малогабаритного, легкого и простого в обращении устройства, не требующего специальной подготовки и квалификации;

- разработанное устройство должно быть доступно для изготовления собственными силами в любой мастерской или по стоимости быть недорогим для приобретения индивидуальными (частными) предпринимателями, либо владельцами автомобилей<sup>2</sup>.

Ранее было указано, что основными критериями при выборе того или иного нанопрепарата как для обкатки новых механизмов и особенно для послеремонтной эксплуатационной обкатке двигателя, является гарантированное исключение образования задиров и минимальная интенсивность изнашивания деталей в ресурсных сопряжениях в режиме штатной эксплуатации.

Из анализа основополагающих закономерностей основоположника теории трения, изнашивания и смазки И.В. Крагельского [7] следует, что на задиры и изнашивания в трибопаре оказывает большое количество переменных факторов.

Если предположить, что в специальном устройстве [4, 8] для испытания наноматериалов в составе моторного масла трибопара будет состоять из испытываемых образца и контрообразца, изготовленных из легированной стали с высокой твердостью, например, из ролика и кольца подшипника (сталь ШХ15, твердость 72 HRC) и применении схемы нагружения с максимальной локализацией (точечной) нагрузки, представленной на рисунке 3, то в процессе трения при проведении триботехнических экспериментов данные образцы будут обладать неменяющимися геометрическими характеристиками, неменяющимся высоким пределом прочности материала и высокой твердостью,

---

<sup>2</sup> По вопросам приобретения можно обратиться по телефону +7-351-269-74-10, e-mail: TPGWABO@mail.ru

неменяющейся способностью выдерживать значительные деформации без разрушения и неменяющихся других физико-механических характеристик. Из этого следует, что при использовании предлагаемых образцов и схемы нагружения основными составляющими интенсивности износа по теории трения И.В. Крагельского будет являться коэффициент трения, который зависит от условий трения, т.е. от марки нанопрепарата в составе смазочного материала и нагрузки. Кроме того, при исследовании наноматериалов были неизменными скорость скольжения и начальная минимальная площадь контакта образцов.

На основании полученных результатов многократных предварительных экспериментов по поиску и обоснованию условий для образования задира впервые установлено, что сила трения при задире для конкретной трибопары из стали ШХ15 при испытании различных марок наноматериалов в составе моторного масла, не изменяется и является постоянной величиной  $F_{\delta\delta} = P \times f$ . Выявлено, что условия трения не влияют на силу трения при задире. Переменными при задире являются только нагрузка и коэффициент трения.

Эта константа трибопары устройства [8] названа характеристикой или параметром задира трибопары из стали ШХ15. Этот параметр можно назвать метрологическим показателем устройства и конкретной трибопары.

Параметр задира для трибопары из стали ШХ15 в разработанном устройстве определен, он равен 8,0 Н. Данное значение параметра определено как произведение среднего значения коэффициента трения базового моторного масла, принятого равным 0,10 (по данным экспериментов и литературных источников коэффициент трения для моторного масла может находиться в пределах от 0,10 до 0,25 и выше), на среднее значение нагрузки  $40 \text{ Н}$  или 80 Н, при которой происходит заDIR в трибопаре устройства.

Зная параметр задира, предложенного устройства [8] и предельную нагрузку любого диагностируемого наноматериала, при котором происходит задир в трибопаре устройства, можно определить коэффициент трения для любого состава масляной композиции, состоящей из моторного масла и наноматериала.

Экспериментально установлено, что задир в трибопаре устройства гарантированно не произойдет, если коэффициент трения масляной композиции будет менее 0,05, а минимальная нагрузка при этом должна быть равной более 160 Н. Разработанное устройство позволяет создавать нагрузку, превышающую 300 Н.

Графически область эффективных марок наноматериалов, исключающих задир можно представить на рисунке 2 [4, 9].

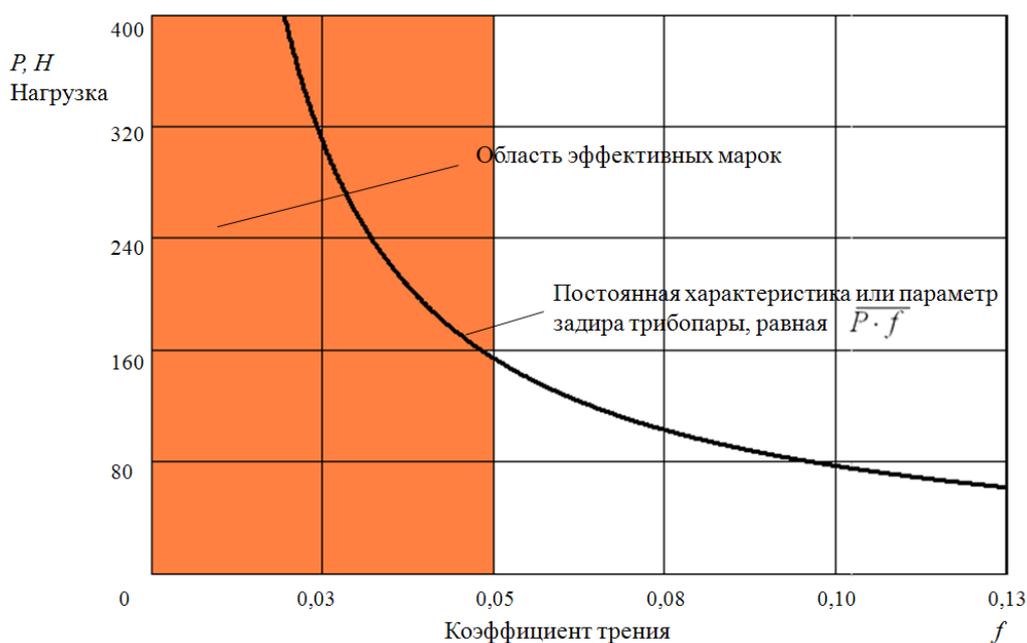


Рисунок 2 – Область эффективных марок наноматериалов

Предлагаемый экспресс-метод диагностики и выбора наноматериала на задир и устройство позволят в течение нескольких минут гарантированно прогнозировать исключение отказов в ресурсных сопряжениях ДВС при использовании только рациональной марки

наноматериала и обеспечить безызносную эксплуатацию ДВС в увеличенный в два и более раза в доремонтный и межремонтный периоды.

## **2.2 Экспериментальные исследования по выбору рационального трибопрепарата экспресс-методом**

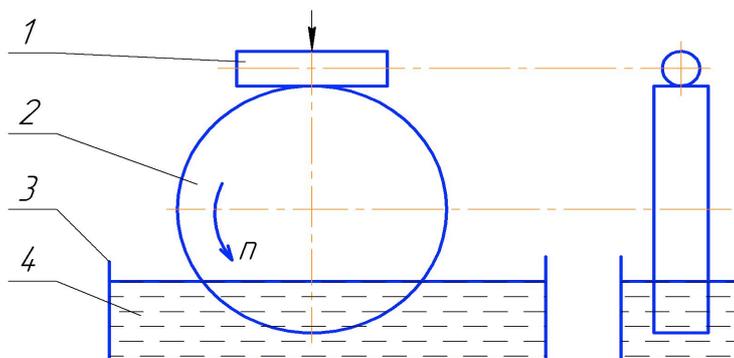
В настоящее время в России и за рубежом все более активно разрабатываются и предлагаются к продаже новые трибопрепараты, количество которых ежегодно возрастает. Эти трибоматериалы имеют большой диапазон различий по свойствам, составу, физико-химическому воздействию на рабочие поверхности деталей в узлах трения и т.д.

Разобраться собственнику автотранспорта и даже инженеру в этом разнообразии трибопрепаратов без дополнительных знаний невозможно. Информация, которая размещена на упаковке касается только порядка применения, она имеет больше рекламный характер и нередко искажена и противоречива. Необходимо отметить, что все препараты не являются универсальными для применения во всех механизмах машин и оборудования и имеют как достоинства, так и недостатки, которые необходимо учитывать. В связи с этим для выбора наиболее эффективного препарата как для эксплуатационной обкатки, так и для последующего увеличения ресурса ДВС или оборудования необходимо использовать разработанный приемлемый экспресс-метод выбора рационального трибоматериала.

Выше было упомянуто, что основным критерием при выборе того или иного трибопрепарата для приработки деталей в механизмах при обкатке двигателя или агрегата трансмиссии машин является гарантированное исключение образования «задилов» и минимальная интенсивность изнашивания деталей в ресурсных сопряжениях. В связи с этим основным требованием, предъявляемым к экспресс-методу и к применяемой при этом установке, для испытания трибопрепарата в составе масел при трении, является высокая вероятность образования «задилов» и

заклинивания образцов и получения значительных износов. Вероятность получения задира можно обеспечить максимальной локализацией нагрузки в трибосопряжении образцов [8] на рисунке 3 схемы устройства.

Локализация (точная нагрузка) реализована в разработанном устройстве (Патент РФ № 104722) [8], благодаря применению специальной схемы расположения особо твердых образцов. В качестве испытуемого образца используется ролик подшипника качения, а контр-образцом является кольцо подшипника, изготовленные из стали ШХ15 и имеющие твердость не менее 72 HRC. Испытаниям подвергались более 30 трибоматериалов.



1 – образец, 2 – контробразец, 3 – ванна, 4 – масло, содержащее трибоматериал

Рисунок 3 - Схема локализации нагрузки в трибосопряжении

Вполне очевидно, что если в процессе испытания трибоматериала в таких особо жестких условиях при максимальной, локализованной в точечном контакте, нагрузке не произойдет «задир» и заклинивание в трибосопряжении, то есть остановка электродвигателя привода контробразца (2) (Рисунок 3), то это будет указывать на то, что трибоматериал, содержащийся в масле, будет обеспечивать, во-первых, минимальный коэффициент трения в сопряжении ресурсных деталей и, во-вторых, будет обеспечивать минимальную интенсивность изнашивания этих деталей. Именно по этим критериям, будет

определяться целесообразность и эффективность применения трибоматериала для безыносной эксплуатации ДВС.

Данное устройство в полной мере удовлетворяет выдвинутым требованиям, предъявляемым к определению количественной оценки свойств трибоматериалов, исключающих образование задиров на деталях.

В разработанном устройстве для тестирования масляных композиций при помощи градуированного динамометрического рычага можно измерять и контролировать нагрузку в трибосопряжении, при которой происходит остановка электродвигателя, то есть «задир» и заклинивание, а также косвенно оценивать коэффициент трения по показанию амперметра, который показывает величину тока потребляемого электродвигателем. Износ образца оценивается по изменению массы до и после тестирования за установленное определенное время испытания и при одинаковой нагрузке. Взвешивание образцов производится на аналитических весах.

Выше приведенная методика, с нашей точки зрения, является универсальной, так как она с высокой вероятностью позволяет прогнозировать возможность образования задиров (заклинивания) в главных ресурсных сопряжениях двигателя, а именно в сопряжениях поршневых колец и зеркала цилиндров, шеек коленчатого вала и вкладышей подшипников скольжения, подшипников качения и зубчатых передач в редукторах.

Разработанная универсальная методика испытания масел, содержащих трибоматериалы, при трении позволила нам упростить и существенно ускорить экспериментальные исследования по выявлению задир и определению величины износа в трибосопряжении по сравнению с известной классической методикой, предложенной основоположником теории трения И.В. Крагельским [7] по экспериментальному исследованию интенсивности изнашивания.

В результате предварительных триботехнических испытаний были выбраны более 30 марок трибоматериалов по разработанной методике для тестирования масел на «задир», более 15 марок трибопрепаратов из-за относительно низких показателей были отсеяны.

Концентрация отобранных трибопрепаратов в составах с моторным маслом была принята на основании рекомендаций фирм разработчиков-поставщиков этих продуктов.

### **Результаты исследования трибопрепаратов на задир экспресс-методом**

Результаты триботехнических испытаний трибопрепаратов на «задир» образцов, проведенных по разработанной методике на устройстве для тестирования представлены на рисунке 4 [4].

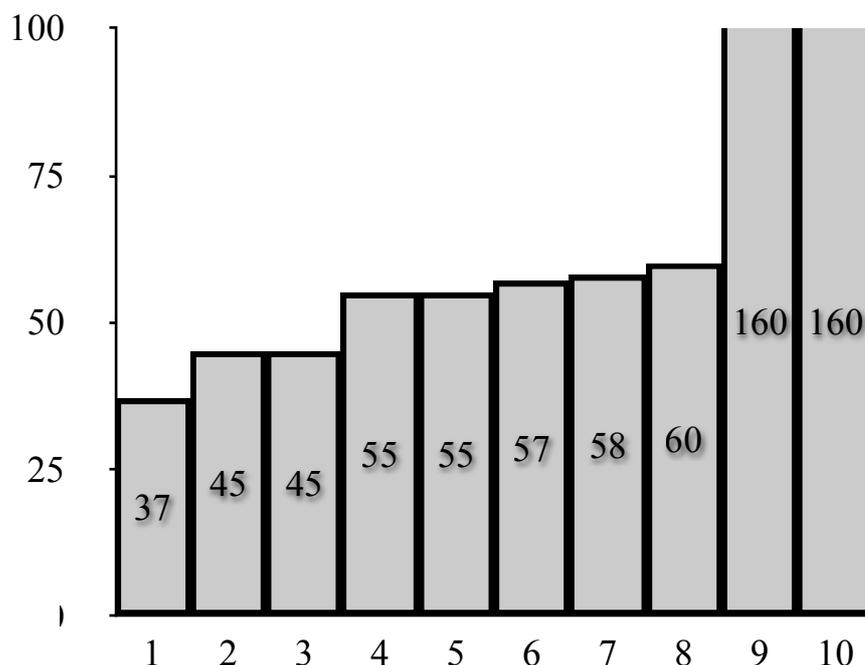
Из диаграммы (Рисунок. 4) следует, что только два трибопрепарата из 9 могут гарантированно исключать образование задиров и заклинивания в трибосопряжении образцов. Это препараты фирмы «Wagner». Было установлено, что эти же препараты обладают и уникальной износостойкостью.

Оказалось, что величина износа образцов в составах, содержащих препараты фирмы «Wagner», на порядок ниже по сравнению с другими трибоматериалами. Относительный коэффициент трения, по показателям амперметра на устройстве, также в 5...7 раз был ниже. Величина потребляемого тока электродвигателем не превышала 0,5 А с препаратами «Wagner». На всех других препаратах ток равнялся 4...5 А.

Другие трибоматериалы, в основном ревитализанты (Рисунок 4), хотя и имеют несколько лучшие триботехнические показатели в сравнении с чистым моторным маслом, но видимо, эти препараты не адаптированы к методике на запатентованном устройстве, основанной на максимальной локализации нагрузки и скоротечности процесса (менее 1 минуты до образования задира).

Нагрузка, Н·м

Свыше 160  
(задира нет)



1 – чистое моторное масло; 2 – Форум; 3 – АРВО; 4 – РВД; 5 – Форсан универсальный; 6 – РВС; 7 – Реагент-2000; 8 – Супротек универсальный; 9 – Ceramic «Wagner»; 10 – Oil Package «Wagner»

Рисунок 4 - Диаграмма изменения максимальной нагрузки (Н·м) в трибосопряжении (Рисунок 3), при которой происходит задира (заклинивание) и остановка электродвигателя

Причем показатели этих трибопрепаратов, как видно из рисунка 4 существенно не отличаются друг от друга. И это вполне объяснимо, т.к. механизмы воздействия этих препаратов на трущиеся металлические поверхности деталей вероятно совершенно другие и существенно отличаются от препаратов «Wagner». Известно, что эта группа препаратов рассчитана на длительное воздействие на процессы модифицирования поверхностей трибосопряжения деталей. Большая продолжительность процесса повышения износостойкости деталей в контакте с ревитализантами объясняется длительным процессом образования антифрикционного слоя.

Результаты испытания трибоматериалов экспресс-методом (рисунок 4) подтвердили результаты внедрения препаратов Wagner PBC и Супратек, следовательно, можно утверждать, что эксплуатационная обкатка для ДВС после капитального ремонта, может быть сокращена не менее чем на 50...80%, и, что доремонтный и межремонтный ресурсы двигателя могут быть увеличены не менее чем в 2 раза применением трибопрепарата Wagner.

На основании результатов экспериментальных исследований и опытно-производственной проверки по выбору рационального трибоматериала для повышения долговечности и безотказности ДВС машин предлагаются нижеследующие *технологические рекомендации*.

1. Для продления ресурса при штатной эксплуатации автотракторной техники рекомендуется использовать трибоматериалы фирмы «Wagner» преимущественно Eco Universal Oil Package. Допускается к применению и препарат Universal-Micro-Ceramic Oil фирмы «Wagner».

2. В связи с тем, что после обработки двигателя трибопрепаратами фирмы «Wagner» из-за снижения коэффициента трения в трибосопряжениях и снижения механических потерь число оборотов коленчатого вала увеличивается на 70...100 об/мин, рекомендуется предварительно провести проверку и регулировку систем питания топлива. Это особенно важно для коленчатых валов, имеющих ремонтные размеры шеек.

3. Перед применением трибоматериала необходимо промыть картер двигателя специальным составом фирмы «Wagner», препаратом «Лавр», либо любым другим известным средством или способом. Затем при прогревом двигателя до 60°C залить в картер двигателя трибопрепарат «Wagner», соблюдая концентрацию 5...7% от емкости системы смазки ДВС либо трансмиссии. После заливки состава необходимо дать ресурсным сопряжениям двигателя приработаться на холостых оборотах не менее 30 минут.

4. Для ДВС после капитального ремонта продолжительность послеэксплуатационной обкатки обработанного двигателя трибоматериалом Wagner при пониженной нагрузке может быть сокращена до 10...20 м-ч.

### **2.3 Экспериментальные исследования по доказательству достоверности экспресс-метода выбора рациональной трибодобавки**

Для доказательства достоверности экспресс-метода и выдвинутой предпосылки по повышению долговечности и безотказности ДВС были проведены лабораторные сравнительные триботехнические исследования трибоматериалов в составе моторного масла в парах трения приближенным к реальным ресурсным сопряжениям двигателя, натурные стендовые испытания двигателя и коробки передач трактора, а также эксплуатационная проверка в условиях штатной эксплуатации двигателей.

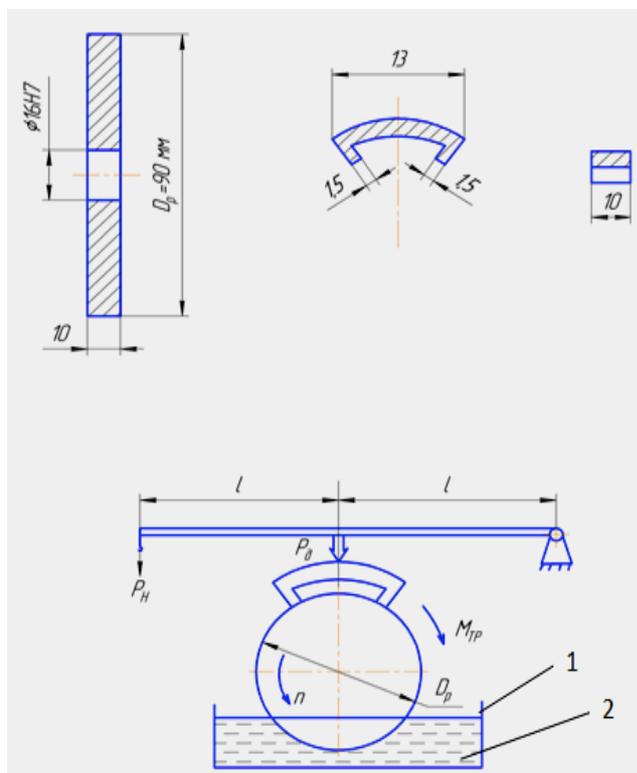
#### **2.3.1 Методика проверки достоверности экспресс-метода по коэффициенту трения рационального трибопрепарата в ресурсном сопряжении поршневое кольцо-зеркало цилиндра**

Для исследования были взяты наиболее эффективные трибоматериалы RVS и Oil Package, выявленные на стадии предварительных экспериментов. Для определения сравнительных коэффициентов трения трибопрепаратов в составе моторного масла были проведены традиционные испытания на стандартной машине трения СМЦ-2.

Разработанная усовершенствованная методика исследования на стандартной машине трения СМЦ-2 позволила максимально приблизить условия эксперимента к условиям трения поршневых колец в дизельных двигателях. Схема нагружения и конструкция образцов представлена на рисунке 5 [10].

Усилие давления образца на контроробразец определялось на основании реального давления газов в камере сгорания дизеля и удельного давления верхнего компрессионного кольца на «зеркало» гильзы, исходя из схемы распределения давления газов в лабиринтном уплотнении колец, представленном на рисунке 6 [11].

Давление газов на поршень  $P_z$  для дизельных двигателей  $P_z = 8 \dots 10$  МПа, для ДВС с турбонаддувом  $P_z = 10 \dots 12$  МПа. Среднее давление газов, прижимающих верхнее компрессионное кольцо к стенке гильзы, согласно схеме (Рисунок 6) принято равным 8 МПа или удельное давление равно  $800 \text{ Н/см}^2$ .



$P_H$  – сила нагружения, Н;  $P_D$  – усилие давления, Н;  $P_D = 2 \cdot P_H$ ;  
 $M_{Тр}$  – момент трения скольжения, Н\*см;  $\omega$  – частота вращения ролика,  $\text{мин}^{-1}$ ; 1 – ванна; 2 – масло, содержащее трибоматериал

Рисунок 5 - Схема нагружения и смазки трибосопряжения на СМЦ-2 по определению времени стабилизации и коэффициента трения в зависимости от марки трибоматериала, содержащегося в масле

Исследования проводились по схеме «вращающийся чугунный ролик – неподвижная чугунная колодка», изготовленные из чугуна и поршневого кольца. Площадь контакта в сопряжении «Ролик-колодка» – 0,3 см<sup>2</sup>. Относительная скорость скольжения пар трения при частоте вращения ролика  $n = 300 \text{ мин}^{-1}$  и диаметре 90 мм составляла 1,4 м/с. Нагрузка  $P_n = 120 \text{ Н}$  соответствовала максимальному давлению газов. Перед проведением эксперимента пары прирабатывались до стабилизации момента трения.

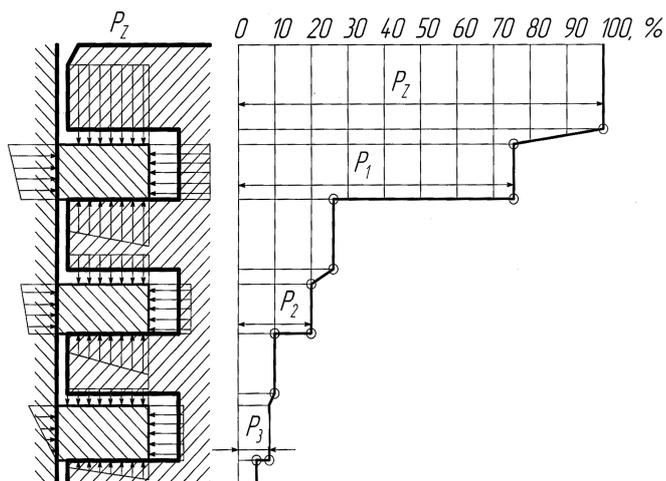


Рисунок 6 - Распределение давления газов  $P_z$  в лабиринтном уплотнении поршневых колец

### 2.3.2. Методика проверки достоверности экспресс-метода по коэффициенту трения рационального трибопрепарата в ресурсном сопряжении антифрикционный слой вкладыша-шейка коленчатого вала

Разработанная методика исследования на модернизированной машине трения СМЦ-2 также позволяет максимально приблизить условия эксперимента к условиям трения в подшипниках коленчатого вала дизельного двигателя. Схема нагружения в трибосопряжении аналогичная схеме, представленной на рисунок 5. Сила нагружения предварительно подбиралась так, чтобы температура в трибосопряжении не превышала 80...90С°, что соответствует реальной температуре в подшипниках

скольжения коленчатого вала. При проведении исследований были применены нижеследующие приборы и материалы [4, 10]:

- модернизированная машина СМЦ-2;
- приборы, показывающие температуру смазочного состава в трибосопряжении М-64 ГОСТ 9736 класса точности 1.5,
- хромель-копелевые датчики температуры,
- электронные аналитические весы;
- в качестве образцов приняты вырезанные из вкладыша коленчатого вала двигателя Д-180 колодки, имеющие антифрикционный сталеалюминиевый слой,
- площадь контакта с контрообразцом равна 100 мм<sup>2</sup>,
- контрообразцами были ролики из стали 45, закаленные до твердости 58HRC диаметром 50 мм.

Перед каждой серией опытов поверхности трибопары зачищались шлифшкуркой.

- минеральное масло марки SAE10W-40API SF/CC,
- синтетическое масло моторное марки Mobil SUPER SW-40 соответствует требованиям ACEA A3/B3, A3/B4, AP/SM,
- трибопрепараты: Micro-ceramic, Oil-Package фирмы «WAGNER», БЕМИТ (ГОСНИТИ) и др.

*Режимы трибологических исследований:*

- нагрузка в трибосопряжении – 230 Н,
- скорость скольжения контрообразцов – 1,30 м/сек,
- температура образца при трении поддерживалась равной 80...90 °С,
- длительность эксперимента – 300 минут.

### **2.3.3 Методика стендовых испытаний дизеля Д-240**

Целью стендовой проверки эффективности выбранного рационального трибоматериала фирмы «Wagner» на дизельном двигателе является подтверждение результатов триботехнических исследований, а

также предпосылки о возможности продления ресурса двигателей и экономии дизельного топлива за счет сокращения механических потерь.

Испытание двигателя Д-240 трактора МТЗ, как наиболее распространенного в народном хозяйстве, проводилось на стенде КИ-5543 ГОСНИТИ и с учетом требований ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний». Во время испытаний с помощью приборов фиксировались часовой расход топлива, частота вращения коленчатого вала, температура воды в системе охлаждения, температура и давление масла и другие параметры.

В качестве трибоматериала был использован выбранные экспресс-методом рациональный трибоматериал Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner», который был подтвержден результатами лабораторных триботехнических экспериментов, как препарат, обладающий наименьшим коэффициентом трения в трибосопряжениях и наиболее эффективный по уменьшению величины износа образцов пары трения при испытании как на машине трения СМЦ-2, так и на устройстве по тестированию трибоматериалов на задир, на котором этот препарат исключал образование задира на образцах при нагрузках многократно превышающих нагрузку, при которой происходит заклинивание образцов на маслах без добавления препарата.

Концентрация препарата в моторном масле М10Г2 составляла 5... 6%. После заливки препарата в картер в течение 40 минут двигатель работал при  $1000 \text{ мин}^{-1}$  с целью обработки всех трущихся поверхностей деталей трибопрепаратом.

Согласно установленной методике по определению механических потерь на трение, которые определяются при снятии характеристики холостого хода двигателя, на первом этапе определялись механические потери в кВт при прокрутке коленчатого вала на оборотах 1000, 1100, 1200, 1300 и  $1430 \text{ мин}^{-1}$ , а на втором этапе производились замеры часового расхода топлива при изменении оборотов от 1200 до  $2337 \text{ мин}^{-1}$  с интервалом изменения оборотов равным  $200 \text{ мин}^{-1}$ . Полученные результаты

экспериментов до применения трибопрепарата и после применения обрабатывались по компьютерной программе.

#### **2.3.4 Результаты исследования и технологические рекомендации по безыносной эксплуатации автотракторных двигателей**

##### *По ресурсному сопряжению гильза – поршневое кольцо*

Известно, что свыше 75% потерь мощности двигателя приходится на механические потери при трении поршневых колец в сопряжении с «зеркалом» гильз цилиндров [11]. В связи с этим, прежде всего, необходимо выявить закономерность изменения коэффициента трения в данном сопряжении ресурсных деталей цилиндро-поршневой группы при воздействии трибоматериалов.

Ниже приводятся результаты триботехнических исследований применительно к сопряжению гильза-поршневое кольцо, полученные по методике, реализованной на схеме процесса трения, показанной на рисунке 5 [4].

Для проведения исследований были выбраны выявленные ранее экспресс-методом, наиболее эффективные трибоматериалы: препарат фирмы Wagner и RVS НПО «Руспромремонт».

Ранее было указано, что закономерность изменения коэффициента трения в трибосопряжении будет определяться продолжительностью этапа перестройки (модифицирования) поверхности, который в свою очередь будет зависеть от свойств трибоматериалов, смазки, температуры и давления на контактных поверхностях пар трения. Так по данным НПО «Руспромремонт» – производителя трибопрепарата RVS необходимое время для полного завершения модификации поверхностей трения в ДВС должно быть не менее 15 часов. Для машины трения СМЦ-2, по нашим данным, необходимое время модификации поверхностей образцов должно быть не менее 3 часов, при обеспечении температурного режима  $60^{\circ}\text{C} < t < 90^{\circ}\text{C}$  и удельного давления в зоне трения  $\sigma_y > 1,5 \text{ МПа}$ .

Указанные параметры были приняты в основу при проведении триботехнических исследований, по определению коэффициента трения в соответствии с разработанной методикой, описанной выше.

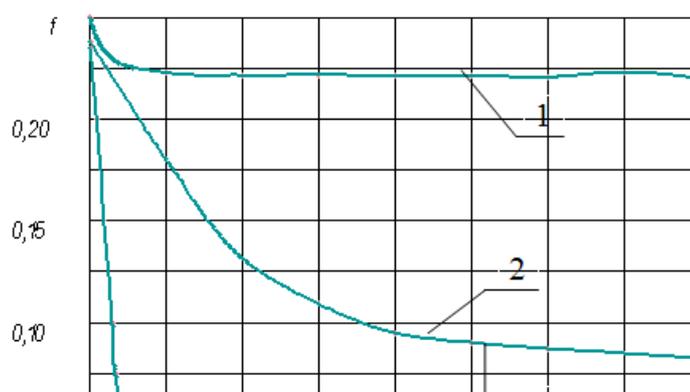
Во всех экспериментах процесс трения по принятой схеме (Рисунок 5) отличался стабильностью, отсутствием «заеданий», «схватывания» и колебаний момента трения.

Изменение коэффициента трения и его стабилизация представлены на рисунке 7.

Из рисунка 7 следует, что в среднем время стабилизации трения в трибосопряжении при использовании трибопрепарата RVS ( $t_{c2}$ ) составляет 4...6 часов, а при использовании препарата Oil Package ( $t_{c3}$ ) соответственно 1...1,5 часа, т.е. в 4...5 раз меньше. Коэффициент трения в чистом моторном масле практически не изменяется.

Из рисунка 7 также следует, что при максимально возможном приближении условий трения на машине трения условиям трения поршневого кольца и «зеркала» гильзы, добавки трибоматериалов в моторное масло могут существенно снижать коэффициент трения в главных ресурсопределяющих сопряжениях деталей цилиндро-поршневой группы, а также в сопряжениях деталей других механизмов двигателя, сокращать механические потери и за счет этого экономить ТСМ. Из рисунка 7 также следует, что препарат Oil Package может существенно сокращать продолжительность эксплуатационной обкатки.

Полученные экспериментальные данные (Рисунок 7) подтверждают выдвинутые предпосылки о возможности существенного продления доремонтного и послеремонтного ресурсов деталей цилиндро-поршневой группы в условиях штатной эксплуатации ДВС применением трибопрепаратов фирмы Wagner.



1 – Чистое моторное масло; 2 – RVS в составе моторного масла;  
3 – Oil Package в составе моторного масла.

Рисунок 7 - Влияние трибоматериалов в составе моторного масла на изменение коэффициента трения и время стабилизации трения в трибосопряжении

*По ресурсному сопряжению шейка коленчатого вала-вкладыш*

В связи с тем, что трибопрепарат Oil Package фирмы «WAGNER» проявил наилучшие результаты при триботехнических исследованиях по двум предыдущим методикам, нами принято решение проверить эффективность этого препарата в трибосопряжении аналогичному ресурсному подшипниковому сопряжению коленчатого вала по вышеприведенной методике.

Результаты исследования представлены на рисунке 8 [4].

Во время проведения экспериментов контролировались сила трения с помощью специального электронного устройства, температура в трибосопряжении и изменение массы образцов и контрообразцов до и после эксперимента. Повторность опытов – трехкратная.

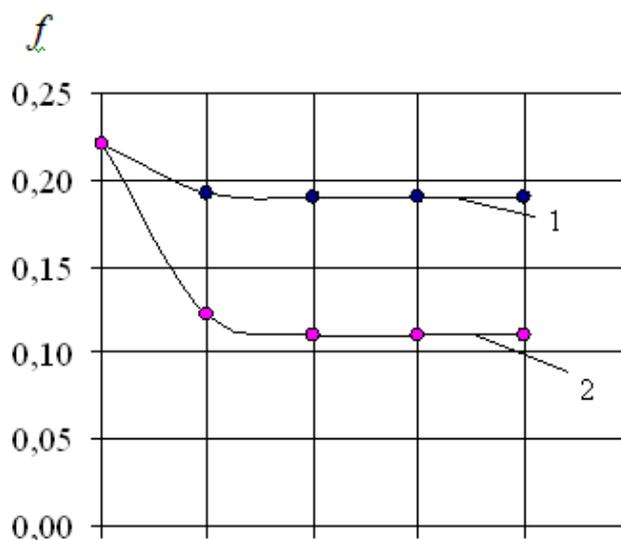


Рисунок 8 - Влияние трибоматериала на изменение коэффициента трения в трибосопряжении антифрикционного сталеалюминиевого сплава и закаленной стали 45

В результате опытов установлено:

1. Коэффициент трения сталеалюминиевого сплава в сопряжении со стальным роликом в чистом синтетическом моторном масле при установленном режиме трения составлял 0,19-0,21.

2. Коэффициент трения трибопары при использовании трибопрепаратов фирмы «WAGNER» с концентрацией в моторном масле 7...10% составлял 0,13-0,15. Снижение относительно чистого синтетического масла составляло 23...25%.

Из рисунка 8 следует, что и в подшипниковом сопряжении коленчатого вала трибопрепарат фирмы «Wagner» существенно снижает коэффициент трения на 23...25% и период стабилизации коэффициента трения при установленном режиме не превышает одного часа испытания. Полученные результаты подтверждают достоверность экспресс-метода и экспериментов, выполненных на запатентованном переносном устройстве для тестирования масел.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что трибопрепараты фирмы «Wagner» во всех ресурсных сопряжениях ДВС исключают образование задиров в период обкатки машин, существенно снижает механические потери, и в 3...5 раза сокращают продолжительность эксплуатационной обкатки, и могут существенно увеличить долговечность ДВС.

### 2.3.5 Результаты проверки эффективности рационального трибопрепарата фирмы «Wagner» при испытании дизеля Д-240 на стенде

Цель испытания: – подтвердить результаты лабораторных триботехнических исследований по снижению механических потерь и расхода топлива и предпосылки по эффективности от применения препарата фирмы «Wagner» - Eco-Universal Oil-Package в составе моторного масла, а также достоверность экспресс-метода.

Результаты испытаний представлены в таблице 2 [4, 13].

Из таблицы 2 следует, что потеря мощности на механическое трение в сопряжениях механизмов двигателей снизилась на 5,2% и в связи с этим существенно снизился часовой расход дизельного топлива на 15,5% и соответственно повысился индикаторный КПД на 15,2%.

Полученная на стенде экономия дизельного топлива 15,5% от применения трибоматериала в составе моторного масла для самого массового двигателя Д-240 (тракторы типа МТЗ) имеет существенное значение. В условиях реальной эксплуатации трактора экономия ТСМ будет значительно ниже, но она объективно составит не менее 5...7%.

Таблица 2

Результаты испытания двигателя Д-240

№ п/п	Наименование параметра двигателя	Среднее значение параметра до применения препарата	Среднее значение параметра после применения препарата	% изменения показателя
1.	Часовой расход топлива, $G_T$ кг/ч	2,51	2,12	15,5
2.	Цикловая подача топлива, $q_{ц}$ мг/цикл	11,27	9,74	13,5

3.	Удельный индикаторный расход топлива $q_i$ г/кВт·ч	187	163	12,8
4.	Индикаторный КПД	0,46	0,53	15,2
5.	Механические потери при прокрутке, кВт	8,43	7,99	5,2

### **2.3.6 Результаты проверки эффективности трибоматериалов «Wagner» при помощи стендовых испытаний коробки передач трактора Т-170 и трансмиссии трактора РТ-М-160 производства ОАО «НПК Уралвагонзавод»**

Целью испытания является подтверждение результатов лабораторных триботехнических исследований по влиянию трибоматериалов в составе трансмиссионного масла на снижение коэффициента трения и износ деталей в механизмах трансмиссии тракторов и достоверность экспресс-метода.

Лабораторные исследования выявили, что составы с добавками фирмы «Wagner» в масло обладают наименьшим коэффициентом трения и исключают образование зазоров в трибосопряжении образцов по сравнению с чистым трансмиссионным маслом и составами с другими добавками.

В связи с этим было принято решение проверить эффективность трибопрепаратов «Wagner» на стенде по обкатке коробки передач трактора Т-170 в производственных условиях в ОАО «Челябинский завод тракторных трансмиссий» (ЧЗТТ).

Установленная коробка передач на стенде собственной конструкции (ЧТЗ) показана на рисунке 9.

При обкатке коробки передач замерялась потребляемая мощность электродвигателем привода коробки при помощи прибора К-50, показанного на рисунке 9. Ваттметр прибора К-50 имеет повышенную точность 0,5 класса. Потребляемая мощность до заливки трибопрепарата в картер коробки и после заливки замерялась на всех передачах – восемь передач «вперед» и четыре передачи «назад». Концентрация препарата

Eco-Universal Oil Package фирмы «Wagner» в трансмиссионном масле картера коробки передач составляла 5...6%.

После заливки препарата в картер в течение 3...4 минут на каждой передаче производилась предварительная обработка поверхностей трения деталей коробки и только после этого производились замеры потребляемой мощности на привод коробки.

Результаты испытаний коробки передач представлены в таблице 3 [4, 14].

Таблица 3

Результаты испытания КП трактора Т-170

Скорости	Нормальный диапазон скоростей				Ускоренный диапазон скоростей				Задний ход				Среднее значение снижения потребляемой мощности в %
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Потребляемая мощность до обработки препаратом, кВт	2,92	3,00	3,07	4,05	3,15	3,07	3,22	4,27	3,52	3,30	3,60	4,42	31,5
Потребляемая мощность после обработки пар трения препаратом, кВт	2,17	2,17	2,17	2,62	2,17	2,17	2,10	3,00	2,40	2,40	2,40	3,15	

Из таблицы 3 следует, что потребление электрической энергии на привод КП на всех передачах в среднем снизилась на 31,5%.

Существенное снижение потребляемой мощности на 31,5% дает основание считать, что трибоматериал Oil Package обеспечивает снижение коэффициента трения в сопряжениях КП на всех передачах. Это также подтверждает достоверность экспресс-метода и результаты триботехнических исследований трибоматериалов.

По нашей заявке проведены стендовые испытания трибопрепарата Universal-Micro-Ceramic Oil фирмы «Wagner» на трансмиссии трактора РТ-

М-160 на заводе ОАО «НПК Уралвагонзавод» с применением средств измерения и контроля лаборатории триботехники завода.



Рисунок 9 - Установленная на стенде коробка передач и прибор К-50 для измерения потребляемой мощности электродвигателем привода коробки

В результате проведенных исследований выявлено, что трибопрепарат фирмы «Wagner» снижает температуру в подшипниках заднего моста и вибрацию примерно на 10% и потребляемую мощность до 10%. Данные заводских испытаний на «НПК Уралвагонзавод» подтверждают достоверность наших испытаний КП трактора Т-170 на Челябинском заводе тракторных трансмиссий (ЧЗТТ), а также результаты наших исследований и выдвинутые нами предпосылки по повышению долговечности агрегатов машин.

### **2.3.7 Мониторинг результатов проверки эффективности применения рациональных трибоматериалов по безыносной эксплуатации ДВС**

Целью проведения мониторинга является подтверждение достоверности результатов лабораторных триботехнических исследований трибоматериалов и стендовых испытаний двигателя и трансмиссии тракторов, обработанных трибоматериалами.

Мониторинг проведен по результатам проверки эффективности трибопрепаратов фирмы «Wagner» и RVS по семи предприятиям Челябинской области.

Под наблюдение и контроль были взяты следующие виды машин:

– 3 трактора К-701 (двигатель ЯМЗ-240), 2 трактора К-700А (двигатель ЯМЗ-238НБ), трактор МТЗ-82 (двигатель Д-243), трактор МТЗ-82 (трансмиссия), трактор МТЗ-80 (трансмиссия);

– 3 автомобиля КАМАЗ (двигатель КАМАЗ-740), автомобиль УАЗ-39095 (двигатель);

– 2 автобуса «Икарус» гар. № 256 (междугородний) – двигатель Raba-man D-2156 и автобус «Икарус» гар. № 280 (сочлененный) – двигатель Raba-man D-2156 и легковые автомобили несколько марок в том числе и иномарки.

Перед обработкой трибопрепаратами, по результатам диагностирования и экспертных оценок технического состояния все двигатели подлежали капитальному традиционному ремонту, кроме двигателей легковых автомобилей. Этот факт фиксировался в актах.

После двух и более лет наблюдений и контроля составлялись заключительные акты, из которых следует, что применением трибоматериалов фирмы «Wagner» и RVS, в режиме штатной эксплуатации машин, позволяет поднять компрессию в цилиндрах двигателя до 3 кг/см<sup>2</sup>, в два раза снизить вибрацию двигателя, увеличить давление масла и продлить послеремонтный ресурс двигателей и трансмиссий в два и более раза (более 2 лет) без ремонта и, что при заключительном контроле все двигатели и трансмиссии находились в нормальном техническом состоянии и были рекомендованы к дальнейшей эксплуатации.

Таким образом, выдвинутые теоретические предпосылки о возможности увеличения ресурса двигателей в 2...3 раза и более без ремонта, применением соответствующих марок трибоматериалов, выбранных экспресс-методом, подтверждены не только лабораторными и

стендовыми испытаниями, но и результатами мониторинга за длительный период эксплуатации машин.

### **3 Технико-экономическая эффективность безыносной эксплуатации ДВС**

#### **3.1 Составляющие повышения качества и эффективности «безразборного ремонта»**

Доступны различные литературные и Интернет-данные, в т.ч. десятки официальных протоколов различных организаций, по лабораторным, стендовым и эксплуатационным испытаниям технологии «Безразборного ремонта» машин и оборудования в промышленности, АПК, в оборонных отраслях, а также за рубежом (Япония, Украина, Китай, Германия, Италия, Греция, Египет, Вьетнам и другие страны), которые подтверждают высокую эффективность применения трибопрепаратов, в следующем [4]:

- наращивание защитной антифрикционной износостойкой пленки от долей мкм до 10 мкм, а в отдельных случаях до 50 мкм;
- уменьшение коэффициента трения с 0,12 до 0,04, а в отдельных случаях до 0,02;
- существенное (в 1,5 – 3 раза) повышение ресурса узлов трения практически всех машин и оборудования;
- уменьшение стуков, вибрации, шума агрегатов машин и оборудования на 3...5 dB, уменьшение интенсивного их нагрева и снижение их температуры на 5 – 10 °С;
- уменьшение (на 3 – 15 %) потребления топлива или электроэнергии на привод машин и оборудования;
- уменьшение биения шпинделей у прецизионных станков до 1 мкм, у средней точности до 3 – 5 мкм, у тяжелых до 5 – 10 мкм;
- нивелирование дефектов ремонта и запасных частей;

- улучшение прирабатываемости зубьев зубчатых колес и наращивание толщины зубьев до 0,3 – 0,5 мм;
- сокращение времени приработки узлов трения с уменьшением приработочного износа, сокращение времени обкатки агрегатов новых и отремонтированных машин;
- обеспечение нормальной работы узлов трения машин и оборудования при повышенных до 1,5 раза нагрузочных и температурных режимах;
- обеспечение возможности замены в парах трения цветных металлов на черные;
- обеспечение возможности работы на менее качественных, дешевых маслах;
- защита узлов и агрегатов от повышенного изнашивания при обводнении и загрязнении масла;
- защита от масляного голодания при потере масла, возможность проезда обработанных ДВС в щадящем режиме до 200 км;
- обеспечение легкого запуска моторов в холодное время года;
- экологическая безопасность, простота и оперативность;
- возможность выполнения восстановительных работ в условиях эксплуатации, без разборки-сборки, без использования технологического оборудования, специалистами средней квалификации.

Для ДВС зафиксировано:

- снижение темпа изнашивания основных узлов на 30...50 %;
- увеличение срока службы до капитального ремонта на 50 – 150 тыс. км пробега автомобилей, на год – два для дизелей и до 500 – 850 тыс. км пробега автомобилей-такси;
- увеличение (на 5 – 15 %) эффективной мощности ДВС за счет уменьшения потерь на трение и улучшения сгорания топлива;
- экономия топлива на 2 – 4 % на номинальном режиме, на 3 – 7 % – в городском цикле, на 15 – 20 % на холостом ходу, а для дизеля в городском цикле на 3 – 4 %;

- повышение давления масла в системе смазки от 0,3 до 1,0 кгс/см<sup>2</sup>;
- повышение компрессии, улучшение пневмоплотности цилиндров по вакуумным диагностическим параметрам;
- значительное уменьшение угара моторного масла, его старения и тем самым продление (в 1,5 и более раз) его срока службы;
- возможность безаварийной работы ДВС с недостатком масла, а недлительно и в условиях аварийной потери смазки;
- раскоксовывание деталей ЦПГ, очистка клапанов ГРМ и сопел форсунок;
- обеспечение безаварийного пуска непрогретых ДВС на морозе;
- уменьшение дымности и выбросов вредных веществ вместе с ОГ на 15 – 40 %.

Для агрегатов силовой передачи машин отмечено:

- продление срока службы на год – два работы машин;
- уменьшение стука, вибраций, увеличение срока службы масел.

Затраты на ремонт, обслуживание и эксплуатацию машин уменьшаются в 1,5 – 2 раза, простои из-за неисправностей – в 1,5 раза, повышается производительность машин и оборудования. В целом рентабельность применения трибопрепаратов по различным эксплуатационным проверкам достигает 500 – 800 %.

Особенно отличается экономическая эффективность безызносной эксплуатации машин и оборудования на крупных промышленных и транспортных предприятиях. Здесь 100 усл. ед. эффекта получают от производства дополнительной продукции благодаря безостановочной работе оборудования, 10 усл. ед. – от экономии затрат на ремонт, 1 усл. ед. – от экономии электроэнергии и смазочных материалов.

### **3.2 Экономическая эффективность применения трибопрепарата Wagner на примере двигателя трактора МТЗ**

Проведенные исследования и опытно-производственная проверка результатов исследования показала, что применение трибопрепаратов после ремонта тракторов в ЦРМ СХП увеличивает наработку до отказа ресурсных сопряжений ДВС более чем в 2 раза, т.е. в реальных условиях наработка до отказа третьей группы сложности ДВС, увеличивается до 2500 мото-ч и более вместо фактической наработки до отказа двигателей 500...700 мото-ч. А это означает, что экономический эффект по всем вышеприведенным составляющим является весьма существенным.

Ожидаемый экономический эффект только по некоторым из названных выше составляющих на примере трактора МТЗ будет

- ожидаемый экономический эффект за счет увеличения послеремонтной наработки до отказа третьей группы сложности ДВС и сокращения затрат на ремонтные работы рассчитан по выражению:

$$\dot{Y}_{\text{э.д.}} = \left( \frac{\tilde{N}_i}{T_i} - \frac{C_{\text{д.д.}}}{O_{\text{д.д.}}} \right) \dot{O}_{\text{д.д.}}, \text{ руб.} \quad (6.1)$$

где:  $\dot{Y}_{\text{э.д.}}$  – экономический эффект за счет увеличения наработки до отказа ДВС и экономии затрат на ремонт;

$C_i$  – затраты на ремонт трактора при использовании традиционной технологии капитального ремонта ДВС приняты равны 32 тыс. руб. [15];

$T_i$  – послеремонтная наработка до первого ресурсного отказа ДВС отремонтированных в ЦРМ СХП, принята 750 м-ч. по данным [16];

$C_{\text{Тр.м}}$  – затраты на безремонтное повышение безотказности ДВС применением трибоматериала ориентировочно не превышают 10 тыс. руб. [12, 17].

$T_{\text{Тр.м}}$  – увеличенная наработка до первого ресурсного отказа ДВС за счет применения трибоматериалов (по данным эксплуатационным испытаниям не менее 1500 м-ч.) [12, 15, 17].

$$Y_{\text{о.д.}} = \left( \frac{32000}{750} - \frac{10000}{1500} \right) \cdot 1500 = 54 \text{ тыс. руб.}$$

- экономия дизельного топлива за счет увеличения послеремонтной наработки до отказа ДВС.

Часовой расход топлива справочный для МТЗ равен 9,4 л/ч.

Расход топлива составит:

$$1500 \cdot 9,4 = 14100 \text{ л}$$

Экономия топлива от применения трибоматериала по результатам исследования составляет 5...7% и более.

Принимаем минимальный предел экономии, равный 5%, тогда экономия топлива составит:

$$14100 \cdot 0,05 = 705 \text{ л}$$

Ожидаемый экономический эффект при стоимости 1 литра, равной 25 руб. составит:

$$705 \cdot 25 = 17625 \text{ руб.}$$

Общий ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования в СХП на один трактор МТЗ составит:

$$54000 + 17625 = 71625 \text{ руб.}$$

## Литература

1. Балабанов В.И. Безразборный сервис автомобиля. Обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление /В. И. Балабанов, В. И. Беклемышев, А. Г. Гамидов и др. – М.: Известия, 2007. – 320 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. /Д.Н. Гаркунов. –М.: МСХА, 2001. –Т. 2. – 616 с.
3. Дунаев А.В., Эффективность применения минеральных модификаторов при техническом сервисе в АПК / А.В.Дунаев, В.В.Ладиков, И.Ф.Пустовой, И.Г.Голубев // - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 164 с.
4. Соловьев Р.Ю. Безызносная эксплуатация двигателя внутреннего сгорания / Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин, А.К. Ольховацкий, В.Б. Ломухин, А.В. Дунаев, Д.А. Гительман // Монография под общей редакцией к.т.н. Р.Ю. Соловьева. – М.: ГОСНИТИ, 2015 – 262с.
5. Ерохин М.Н. Нанотехнологии в агроинженерии / М.Н. Ерохин, В.И. Балабанов, В.В. Стрельцов, В.И. Цыпцин, В.В. Сафонов и др. // Учебное пособие под ред. акад. М.Н. Ерохина. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 300 с.
6. Волков Г.М. Промышленная нанотехнология / Труды ГОСНИТИ. Том 105. – М.: ГОСНИТИ. – 2010. – с. 28 – 31.
7. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2 и перераб. /И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
8. Гительман Д.А., Ольховацкий А.К. Устройство для испытания масел при трении / Патент РФ на полезную модель № 104722 от 20.05.2011 г. Бюл. № 14 от 20.05.2011.
9. Соловьев Р.Ю. Выбор рационального трибопрепарата для повышения послеремонтной долговечности дизелей / Р.Ю. Соловьев, А.К.Ольховацкий, В.П.Лялякин, Д.А. Гительман// Труды ГОСНИТИ, том 117. – М.: ГОСНИТИ, 2014. с.220-223.

10. Соловьев Р.Ю. Повышение послеремонтной надежности ДВС применением наноматериалов / Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман // Труды ГОСНИТИ, том 111, часть 2 - М.: ГОСНИТИ, 2013. с.40-44
11. Баширов Р.М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей /Р.М. Баширов. – Уфа: БГАУ, 2008. – 304 с.
12. Ольховацкий А.К., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю., Гительман Д.А. и др. Наноматериалы в техническом сервисе сельскохозяйственных машин / Учебное пособие для студентов вузов под ред. академика РАСХН В.И. Черноиванова. – М.: ГОСНИТИ. 2010. – 68 с.
13. Лялякин В.П. Повышение послеремонтной безотказности ДВС и трансмиссий тракторов применением наноматериалов / В.П. Лялякин, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман // Труды ГОСНИТИ, том 113.-М.: ГОСНИТИ, 2013. с.90-98.
14. Лялякин В.П. Наноматериалы для продления послеремонтного ресурса тракторных трансмиссий и экономии топлива / В.П. Лялякин, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман, А.П. Шавкунов // Труды ГОСНИТИ, том 105.-М.: ГОСНИТИ, 2010. С.53-56.
15. Черноиванов В.И. Инновационные методы повышения послеремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий в АПК / В.И. Черноиванов, В.Ф. Федоренко, Р.Ю. Соловьев, А.К. Ольховацкий, Д.А. Гительман и др. // Монография под общей ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГНУ ГОСНИТИ, 2012. – 399 с.
16. Халфин М.А. Качество и надежность новой и отремонтированной сельскохозяйственной техники. Журнал МТС № 5, 1998. М.: ГОСНИТИ, с. 37...41.
17. Лялякин В.П., Соловьев Р.Д., Ольховацкий А.К., Гительман Д.А. К вопросу сокращения продолжительности послеремонтной

эксплуатационной обкатки трактора / Труды ГОСНИТИ, том 110,  
часть 2. – М.: ГОСНИТИ. – 2012. С. 38 – 42.

Подписано в печать \_\_.\_\_.2015г  
Печать офсетная.  
Формат 60x84/16.Объем 3 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_  
Типография \_\_\_\_\_