

УДК 629.3.014.2:005.934.4

А. В. Дунаев, к.т.н., ГНУ ГОСНИТИ, г. Москва

E-mail: [gosniti8@mail.ru](mailto:gosniti8@mail.ru)

## **Состояние применения нетрадиционной триботехники для безремонтного восстановления сопряжений трения узлов и агрегатов машин и оборудования**

*Ремонт агрегатов машин в режиме штатной эксплуатации применением трибопрепаратов; примеры эффективности, проблемы в широком применении.*

**Ключевые слова:** трибопрепарат, ресурс, коэффициент трения.

A.V. Dunaev

## **State of application nonconventional tribological for reductions of linking of a friction of knots and aggregates of cars and the equipment**

*Repair of aggregates machines in a mode of regular operation by application; examples of efficacy, a problem in wide application.*

**Keywords:** triboadditives, a resource, a friction coefficient.

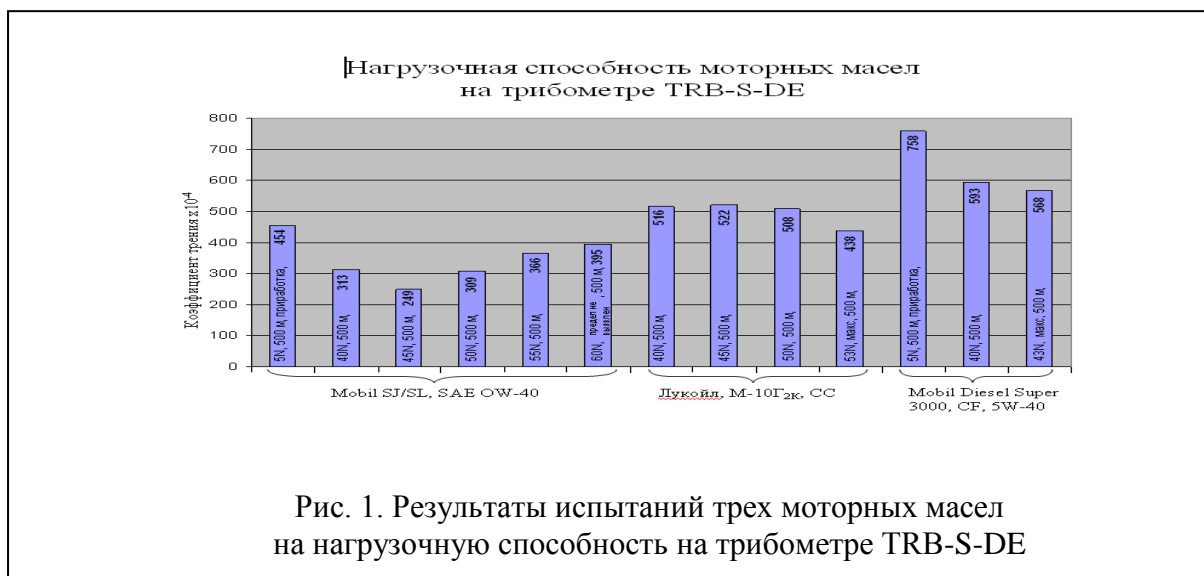
Уменьшение трения и изнашивания – извечная задача человечества еще до изобретения колеса. Использовались животные и растительные жиры, а наше поколение застало применение дегтя. Но с развитием нефтедобычи в 20-м веке произошел почти полный отказ от жиров и переход на минеральные масла.

Кроме жидкостей издревле использовался графит, позже тальк, каолин. Не так давно расширилось применение промышленных продуктов: диселенидов, дихалькогенидов и других искусственных соединений, порошков и растворов ионов металлов [1]. Но главными были нефтепродукты, их вязкость, под которую усилиями ученых России и Европы была подведена гидродинамическая теория с ее развитием по граничной и смешанной смазке.

Позже выяснилась ее недостаточность, оптимизацией состава и ввода все новых и новых присадок повышали сорбционные и хемосорбционные свойства масел. И к настоящему времени за счет присадок, образующих мультимолекулярный ворс, а при повышенных температурах - непрочные соединения железа, минеральные и так названные «синтетические» масла достигли высочайшего качества. У. Гергель [2] в 1997 г. на Международном форуме заявил: «легковые авто в США меняют масла с присадками Лубризол после 100, а тяжелые грузовики – после 25 тыс. миль». Имеются примеры пробегов и миллиона миль. Ныне отдельные

масла еще более эффективны. Так по результатам наших испытаний масло для бензиновых ДВС фирмы Mobil класса качества SJ/SL и вязкости 0W-20 без всяких добавок при номинальной нагрузке обеспечивает на Швейцарском трибометре TRB-S-DE коэффициент трения около 0,025 (рис. 1). На этом основании большинство маслофирм подвергают остракизму нетрадиционные предложения по совершенствованию общепромышленных масел. Тем не менее имеется многообразие специальных масел для экстремальных сфер, твердые смазочные материалы, твердосмазочные покрытия, свой мир химмотологии в МО РФ и обилие нетрадиционных добавок к маслам и смазкам [1]. И все же, даже лучшие масла не предотвращают износ, дороги, а все сезонные масла скоротечно теряют вязкость до жидкой базы.

Развал экономики РФ, катастрофическое старение машин и оборудования во всех отраслях вопреки традиционной химмотологии продвинул разнообразные ремонтно-восстановительные составы (РВС) по 163-м патентам РФ (к середине 2010 г.) и десяткам зарубежных [1, 3-12], хотя предшественники РВС-технологии известны из США с 1942 г., а в России с 1960 г. [1, 5, 8]. К настоящему времени в РФ, на Украине и в других странах российскими РВС-специалистами обработаны десятки тысяч единиц машин и оборудования [11].



Из современных ремонтно-восстановительных трибопрепаратов [4-6, 10-12] неплохо себя показывали в эксплуатации такие:

- геомодификаторы из смесей минералов группы серпентина: НИОД, РВС, ART, СУПРОТЕК, МЕГАФОРС, ВИККО, Карат-ТСК, РВД, ЭДИАЛ, Forsan nanoceramics, РЕАГЕНТ 2000 и др.; в Японии до сих пор – Metaryzer, в Германии Revitec, в Финляндии - RVS-tec, в Швеции - RESTAL [3-9, 11],

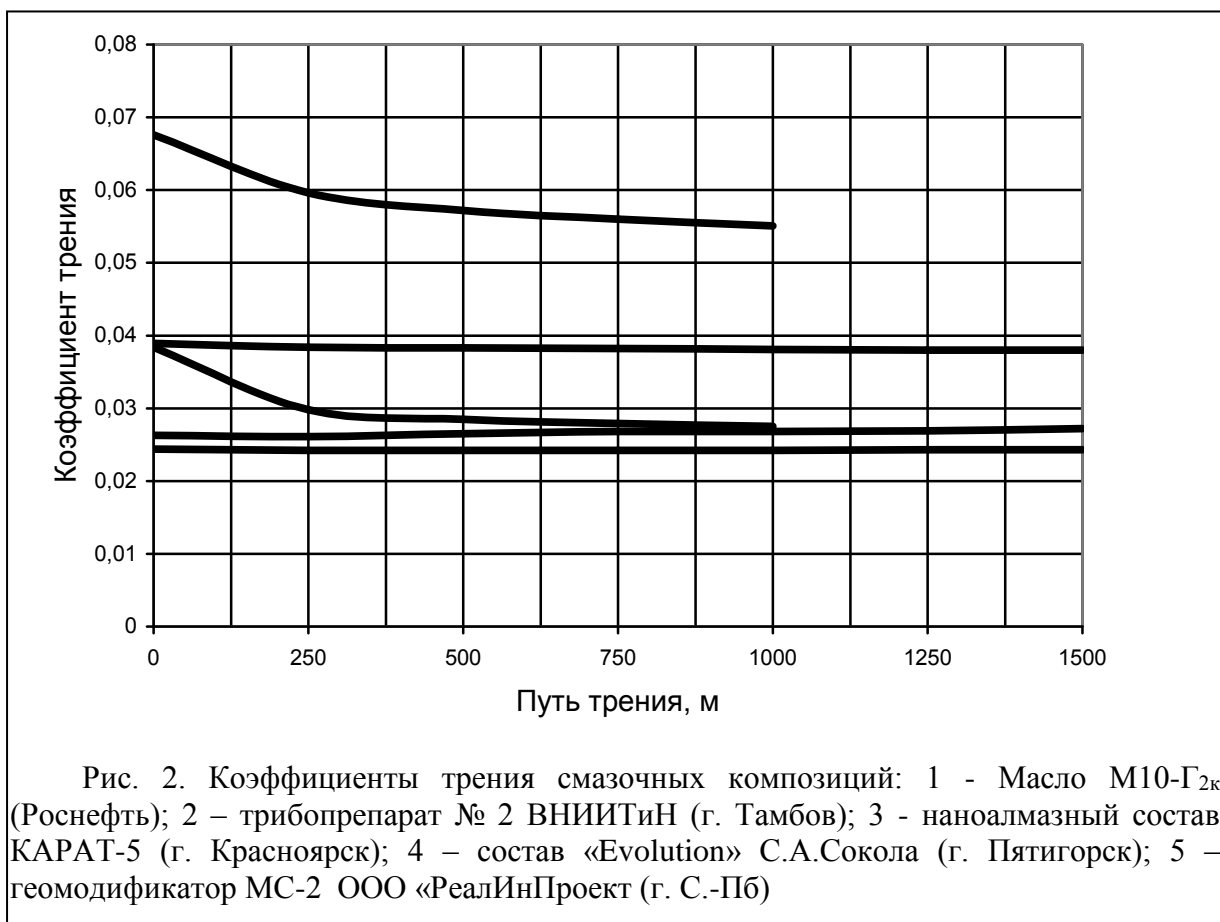
- наноалмазные суспензии: в Белоруссии, на Украине это Энергия алмаза, Формула А, Формула АБ; в РФ - КАРАТ-5, Renom Engine Nano-

Guard; в Европе – Nanodiamond, Lubrifilm Diamond Run In; в Китае - аналог Российского КАРАТ-5 с годовым производством до 300 т [8, 10],

- АРВК – трибопрепарат ИМАШ РАН (трибополимерная присадка ЭФ-357 и серпентин), четырежды испытанный машинно-испытательными станциями АПК в 2004 и в 2008-2010 г. рекомендованный ими, а 17.06.04 и правительством Москвы, к внедрению [4].

Сравнительная характеристика некоторых трибопрепаратов по коэффициенту трения, полученная нами на трибометре TRB-S-DE приведена на рис. 2.

Профилактическими трибопрепаратами, не образующими покрытия, но модифицирующими поверхности любых деталей на глубину 40 – 70 Å или образующим органический ворс с высочайшей адгезией относят отечественный фтор-ПАВ ООО «Автоконинвест», уникальную фторкарбонатную смолу Micro X3 из США, французскую Энергию 3000, германские составы Wagner.



Имеется множество аналогов указанных составов и других препаратов [8]:

- металлоплакирующих (могут образовывать гальванопару мягкий металл-железо и пленка сорвется из-за коррозии железа),

- на основе ПТФЭ (откладываются на всех поверхностях деталей, могут засорять маслосистемы, при их сгорании образуется некоторое количество фосгена, могут вызывать электроэрозионный износ),

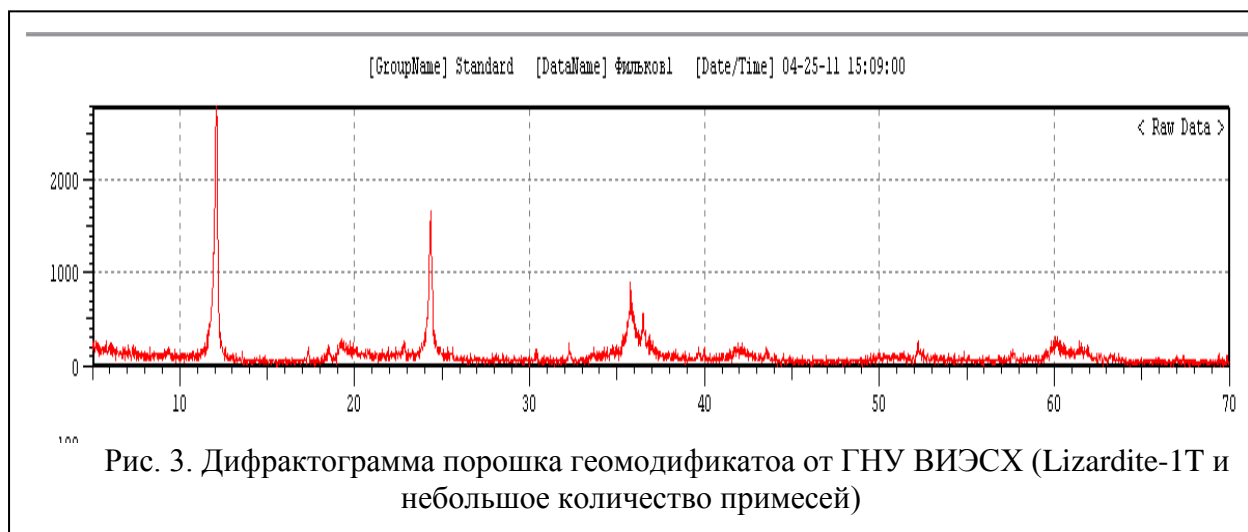
- галогенированных углеводородов (могут образовывать кислоты и коррозию металла),

- разнообразных смесей с включением графита, минералов, наноалмазов, порошков и растворов органических солей металлов.

Всего рекламировалось до 200 составов [1], из которых в РФ в продаже около 20. На наш взгляд из ремонтно-восстановительных препаратов перспективны только серпентиновые, наноалмазные и АРВК. Профилактическими полезны и ремонтно-восстановительные в малой концентрации, а особенно – фторПАВы.

Эпизодически производство, в основном геомодификаторов, осуществляют 10 коллективов в Питере, 9 в Москве, несколько в других регионах. Из-за низкого спроса, обилия отечественных и импортных трибопрепаратов их ниша переполнена.

Наиболее распространенные геомодификаторы включают в разной пропорции лизардит, антигорит, хризотил и 0,1-0,3 % ПАВ [11]. Пример дифрактограммы такого геомодификатора приведен на рис. 3.



Множество фирм-производителей, десятки отраслевых НИИ и различных вузов внедряли РВС-препараты. Имеются сотни доступных протоколов по эффективности РВС-технологии на разнообразных машинах и оборудовании. Издано 15 буклетов, 6 книг, многолетняя серия журналов АГА, несколько брошюр, сотни публикаций. В интернете 30 сайтов РВС-организаций. Защищено десятков докторских и десятков кандидатских диссертаций. В С.-Петербурге и Москве проведены Международные конференции. РВС-технология испытана в десятке стран Европы, Азии, Америки. 15.01.09 ГК РОСНАНО, проведя представительный «Круглый стол», приняла решение повторять его, дорабатывать стандарты и

создавать соответствующие новые для развития РВС-технологий. Отдельные крупные предприятия весьма успешно освоили РВС-технология для тяжелого промышленного оборудования.

РВС-обработка наиболее эффективна для судовых, транспортных и автотракторных дизелей, агрегатов силовых передач. Имеется масса положительных результаты «ремонта» стационарных гидроагрегатов. РВС-трибопрепарат вводят в масло агрегатов, частично в цилиндры ДВС, еще реже во впускной воздушный тракт, когда ведутся работы по «ремонту» топливной аппаратуры. Имеются примеры уверенного «ремонта» дизельной топливной аппаратуры.

Вот из множества отдельные примеры эффективности РВС-технологии:

- дизелю трактора К-701, отработавшему после капремонта 18 мес (израсходовано 30836 л топлива), предназначенному к капремонту с заменой ЦПГ, группа проф. ЧГАУ А.К. Ольховацкого трехкратным введением РВС-препарата продлила эксплуатацию на 20 мес. (израсходовано еще 46 тыс. л топлива). Вместо 32020 руб. стоимости только запчастей на пятикратное диагностирование и препарат израсходовано лишь 9810 руб. с экономией в эксплуатации топлива и масла;

- имеется диплом пробега Москва-Питер-Москва обработанных ООО «Форсан» машин без масла в моторах, что подтверждено многими официальными и любительскими испытаниями в РФ и Китае, а НПО «Руспромремонт» гарантировало безаварийный пробег обработанных авто до 200 км [11];

- в 1976 г. в Ташкентском автодорожном институте ввели в ДВС автомобиля Москвич-408 минеральный трибопрепарат и он 14 лет отработал без замены масла с пробегом более 1 млн. км. Ревизия ДВС нашла коленвал в идеальном состоянии, заменили вкладыши и ЦПГ и автомобиль отработал еще более 5 лет;

- редуктор тяговой тележки тепловоза нормально проработал без масла почти год в тяжелых угольных маршрутах на станции Лесная Забайкальской ж. д.;

- наноалмазный препарат КАРАТ-5 Красноярского ин-та химии и химической технологии наращивал на деталях дизелей грузовиков ГМК «Норникель» РВС-слой 0,09 – 0,65 мм [10],

- в С.-Петербурге РВС-обработанные такси имеют пробеги до 870 тыс. км. [11]

НПО «Руспромремонт» имеет удачные результаты РВС-обработки дизелей автосамосвалов БелАЗ в Кемеровской обл., Китае, Вьетнаме. Стабильно применяется РВС-обработка автомобилей в сервисных автоцентрах Японии (НПП «РеалРусПромРемонт»: Япония – «цельный кусок чистого серпентина» [11]).

Эффективность «безразборного ремонта» в следующем:

1. В 1,5 – 3 раза повышается ресурс узлов трения машин и оборудования.

2. На 5 – 15 % увеличивается эффективная мощность ДВС.

3. На 3 – 15 % уменьшается расход энергии на привод машин и оборудования.

4. В 1,5 и более раз увеличивается срок службы масел, безаварийна работа узлов трения с обводненными и низкокачественными маслами, при их недостатке, а недлительно - без них; облегчен пуск непрогретых ДВС на морозе.

5. На 3 – 5 и более dB уменьшаются стуки, вибрации и шумы агрегатов.

6. До 40 % уменьшаются выбросы вредных газов бензомоторами, на 10 - 25 % - дымность отработавших газов дизелей; экологическая эффективность до 15 %.

7. До 1,5 раза можно повышать нагрузочные режимы работы агрегатов.

8. Обеспечивается замена в парах трения цветных металлов на черные.

9. По данным Военно-морской академии им. адм. А.М. Макарова повышается теплотворная способность топлив, а по данным Высшего автомобильного училища МО (г. Рязань) промотируется вообще бестопливный режим ДВС.

10. Экологическая безвредность, простота и оперативность применения.

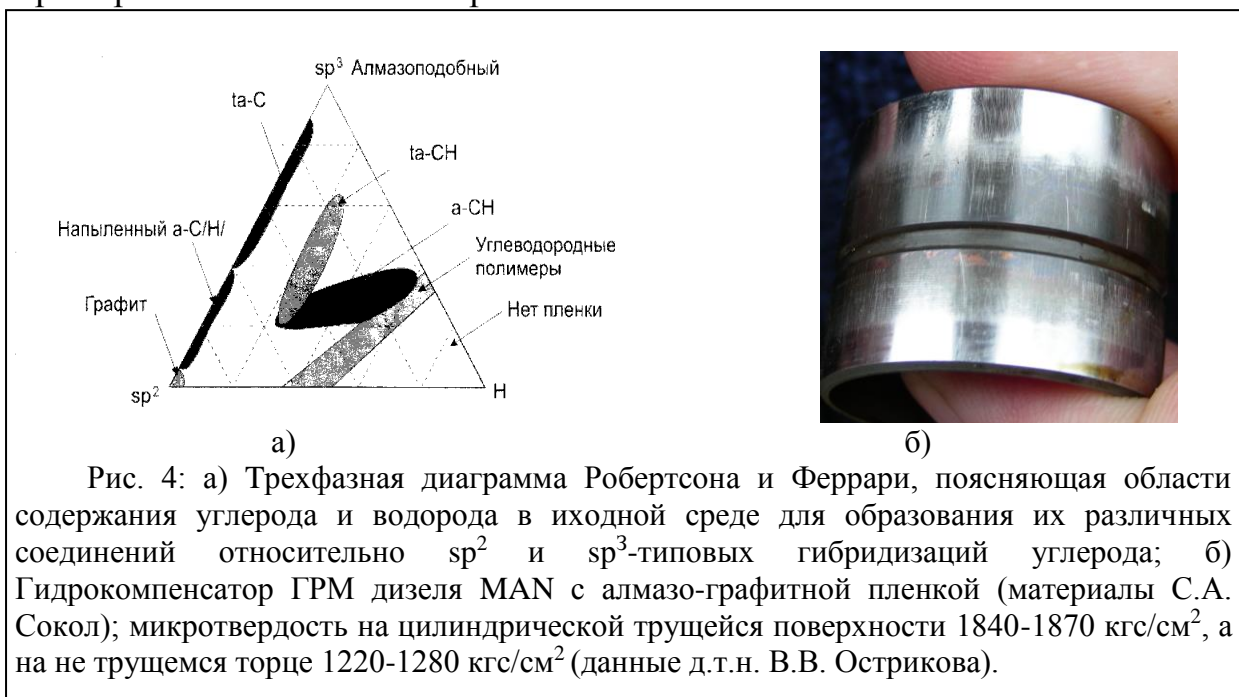
11. «Ремонт» проводится в режиме обычной эксплуатации специалистами средней квалификации. Затраты на ремонт, обслуживание и эксплуатацию машин уменьшаются в 1,5-2 раза, сокращаются простои, повышается производительность машин. Рентабельность «РВС-сервиса» достигает 800 %.

В 2010...2011 г.г. для реализации «безразборного ремонта» в ГНУ ГОСНИТИ, ГНУ ВНИИТиН совместно с ООО «РеалИнПроект» исследованы несколько новых композиций серпентина, на дифрактометре XRD 6000 проведен их рентгенофазный анализ, на трибометре TRB-S-DE проведено 1200 испытаний 30 препаратов. Подтверждена высокая антифрикционность препаратов «Evolution», «Г», МС-2, «КАРАТ-5» и других. Подготовлены технологические рекомендации для обучения и конкретного применения «безразборного ремонта» на автотракторных дизелях. Подготовлено изменение к ГОСТ 20793-2009 в части введения операций «безразборного ремонта».

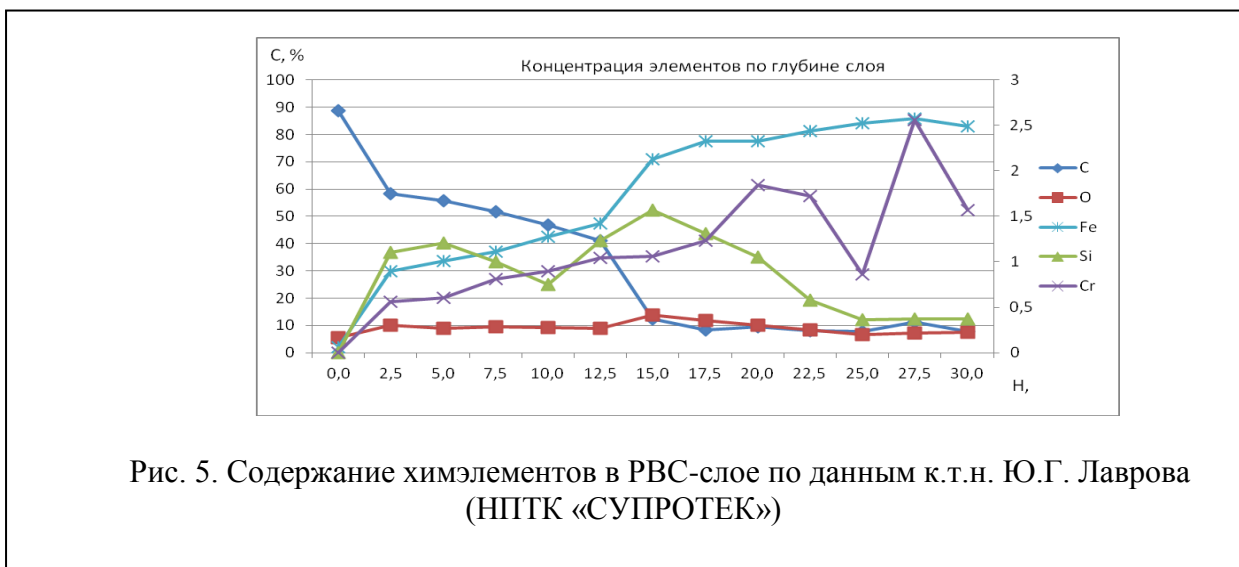
ГНУ ВНИИТиН на дизелях тракторов МТЗ-82, МТЗ-1221 и ДТ-75М провел 250-часовые эксплуатационные испытания препарата МС-2. Получено, что по сравнению с нормативами расход топлива уменьшился на 5-8 %, угар масла - на 10-12 %, дымность отработавших газов - на 8-15 %. А главное - содержание железа в маслах быстро уменьшилось по

сравнению с предыдущим периодом на 20-25 % и стабилизировалось. Это свидетельствует об антиизносном действии препарата и об увеличении срока службы дизелей минимум на 20-25 %.

Поиск наиболее перспективных трибопрепаратов может быть продолжен в направлении создания ими алмазоподобной углеродной пленки, что исследуется во многих странах [13] в т.ч. в ИМАШ РАН и МГУ, в ТК «Неосфера» и ООО «TriboTechnology». Условия образования и пример пленки показаны на рис. 4.



Образование углеродной алмазоподобной пленки интенсивно исследуется десятками специалистов Европы и Америки [13], изданы два тома их результатов. Подтверждением этому являются также исследования состава РВС-пленок, проведенные во Франции и в Китае (рис. 5), а также исследования проф. В.Ф. Пичугина в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, где углерода на поверхности пленок до 75 %.



Исследования применения РВС-препаратов продолжаются в разных направлениях, порой делаются небольшие открытия, как, например, выявление второго минимума коэффициента трения по нагрузке, оптимума последовательности приготовления РВС-трибопрепаратов, выявление роли сажи и свойств масел и смазок на кинетику РВС-процесса, выявление необходимости большого перерыва для протекания РВС-процесса на неработающем агрегате. Но все исследования разрозненны и не находят широкой реализации.

Имеющиеся профилактические трибопрепараты, пригодные для новых или малоизношенных агрегатов, срабатывают быстро и обеспечивают значительное продление доремонтного ресурса. Но они не дают ремонтно-восстановительного эффекта, а изношенный парк оборудования страны нуждается в РВС-технологии.

Использование РВС-технологии в АПК незначительно по следующим причинам:

1. Недостаточная информированность практиков, отсутствие отраслевых РВС-рекомендаций и НТД.

3. Отдаленность предприятий от столичных поставщиков РВС-составов.

4. Неточное понимание механизма действия трибопрепаратов и отсутствие систематизации результатов их использования.

5. Несовершенство комплекса работ: производство составов – триботехнический контроль – корректировка состава и технологии – эксплуатационные испытания – производство конечного продукта – хранение- повторные испытания.

6. Слабая производственная база у частных фирм и низкое качество ряда их РВС-составов, дискредитирующих это направление.

7. Длительные сроки испытаний.

Для широкого использования РВС-технологии необходима пропаганда, убеждение, обучение РВС-технологии, издание отраслевых НТД, о чем просят и РВС-фирмы.

В целях определения целесообразности «безразборного ремонта» ДВС и мониторинга его хода нами предложен экспресс-метод определения остаточного ресурса их ЦПГ. На рис. 6 приведен наш график по этому методу на примере автотракторных дизелей со степенью сжатия 13-16. Имеется подобный и для бензиновых ДВС.



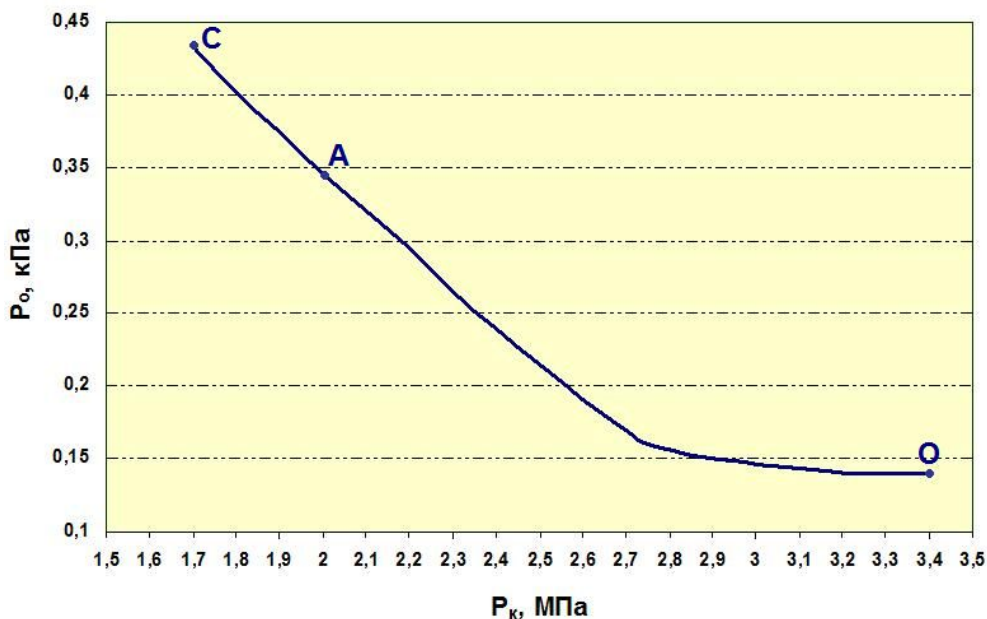


Рис. 6. График для определения остаточного ресурса отдельных цилиндров ЦПГ дизелей со степенью сжатия 13 – 16 по диагностическим параметрам:  $P_0$  и  $P_n$  вакуум в цилиндрах, соответственно, полный и остаточный, кПа, определяемые приборами АГЦ-2 по а.с. № 2184360, кПа;  $P_k$  – компрессия, МПа

При безаварийном изнашивании, при точных измерениях точки диагностических параметров располагаются на приведенной линии. При разрушении поршневых колец, сколах и прогарах клапанов, поршней и гильз эти точки располагаются выше или ниже линии тем далее, чем больше дефект в ЦПГ.

Правое начало линии (точка О,  $P_k = 3,2$  МПа) – начало эксплуатации дизеля, остаточный ресурс – 100 %. Левый конец линии (точка С,  $P_k = 1,7$  МПа) – выбраковка ЦПГ, остаточный ресурс – 0 %. Отношение расстояния ( $L_{O-A}$ ) от точки О до точки А при контроле к полной длине  $L_{O-C}$ , определяет отношение израсходованного ресурса  $T$  (мото-час или км пробега) к полному ресурсу, а отношение длин ( $(L_{A-C})/L_{O-C}$ ) оценивает остаточный  $T_{ост}$  ресурс отдельного цилиндра:

$$T_{ост} = T \left\{ \frac{(L_{A-C})}{(L_{O-A})} \right\}, \text{ в единицах наработки } T \text{ при контроле.}$$

Дизелю в целом принимают наименьший остаточный ресурс какого-либо цилиндра.

Первое диагностирование проводят после раскоксовывания ЦПГ и начала РВС-ремонта, например, введением в дизель по нормативной технологии РВС-трибопрепарата или именно его аналогов. Затем пускают дизель на наработку не менее 250 мото-ч или пробег не менее 500 км и проводят второе диагностирование. При этом если первое диагностирование не показало аварийного состояния деталей ЦПГ, то

эффективность дальнейшего РВС-ремонта по данным второго диагностирования оценивают по смещению диагностических точек на рис. 6 вправо, к «омоложению» дизеля.

#### Список литературы

1. Гнатченко И.И. и др. Автомобильные масла, смазки, присадки. Справочник автомобилиста. С.Пб-Москва: Полигон-АСТ, 2000, 248 с.
2. У. Гергель. (Корпорация Лубризол, США). Периодичность замены дизельных масел. Доклад на 2-й Международной конференции по проблемам развития производства и применения смазочных материалов. Бердянск, 2-6.09. 1997.
3. Ващенко А.В., Казарезов В.В., Таловина И.В., Костенко В.В. Серпентины в триботехнике. Журнал «Минералогия», № 1, 2002, с. 12-17.
4. Дроздов Ю.Н., Буяновский И.А., Гостев Ю.В., Заславский Р.Н., Новиков В.И. Повышение антифрикционных и противоизносных свойств смазочных материалов путем введения композиций присадок различной природы и происхождения. Доклады междунар. конгр. «Механика и трибология транспортных систем - 2003» в двух томах. Ростов на Дону, РГУПС, 2003.
5. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы или реальность? С.-Пб., 2004 г.
6. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники. М., VISSO, 2004, 52 с.
7. Зуев В.В. Конституция, свойства минералов и строение земли (энергетические аспекты). С.-Пб, Наука, 2005, 248 с.
8. Балабанов В.И. и др. Безразборный сервис автомобиля. Обкатка, профилактика, очистка, тюнинг, восстановление. М., Известия, 2007.
9. Телух Д.М., Кузьмин В.П., Усачев В.В. Введение в проблему использования природных слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях. Интернет-журнал «Трение, износ, смазка», 2009, № 3
10. Селютин Г.Е. и др. Применение модифицированных наноалмазов для увеличения ресурса узлов трения. Труды ГОСНИТИ, т. 107, М., 2011.
11. И.Ф. Пустовой. 14-летний опыт Питерской РВС-технологии/ Труды ГОСНИТИ, т. 107, М., 2011
12. Чечет В.А. Избирательный способ ремонта узлов и агрегатов машин. Труды ГОСНИТИ, т. 107, М., 2011
13. SUPERLUBRICITY. Edited by Ali Erdemir. Argonne National Laboratory. Argonne, USA, and Jean-Michel Martin. Ecole Centrale de Lyon. Lyon, France- Amsterdam.