

**С. Ю. Лазарев<sup>1</sup>, В. Е. Тарасенко<sup>2</sup>, А. В. Дунаев<sup>3</sup>, А. А. Жешко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ООО «НПО «Геоэнергетика»  
г. Калуга, Российская Федерация

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Федеральный научный агроинженерный центр «ВИМ»  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь

## **ЗНАЧЕНИЕ ГЕОМОДИФИКАТОРОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Аннотация.* Рассмотрено применение при эксплуатации и ремонте автотракторных двигателей нового класса конструкционных материалов – геомодификаторов поверхностей трения, обуславливающих образование на поверхностях трения углеродных алмазоподобных износостойких антифрикционных покрытий от нескольких до десятков микрон. Описаны физические механизмы, приводящие к повышению свойств различных объектов при вводе в их масла высокодисперсных серпентиновых составов – смесей гидросиликатов магния, алюминия, никеля, железа. На базе многочисленных испытаний различных двигателей показаны изменения их эксплуатационных показателей после ввода составов в работающие ДВС и при станочном способе изготовления их деталей.

*Ключевые слова:* двигатель, состав, геомодификатор, обработка, трение, износ, расход, компрессия.

**S. Yu. Lazarev<sup>1</sup>, V. E. Tarasenko<sup>2</sup>, A. V. Dunaev<sup>3</sup>, A. A. Zheshko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>LLC “SPA “Geoenergetika”  
Kaluga, Russian Federation

<sup>2</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>3</sup>Federal Scientific Agroengineering Center “VIM”  
Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus

## **THE IMPORTANCE OF GEOMODIFIERS OF FRICTION SURFACES DURING OPERATION AND REPAIR OF AUTOTRACTOR ENGINES**

*Abstract.* We are considering the use of a new class of structural materials in the operation and repair of automotive and tractor engines – friction surface geomodifiers, which cause the formation of carbon diamond-like wear-resistant anti-friction coatings from several to tens of micrometers on the friction surfaces, is considered. The physical mechanisms are described that lead to an increase in the properties of various objects when highly dispersed serpentine compositions – mixtures of hydrosilicates of magnesium, aluminum, nickel, and iron are introduced into their oils. On the basis of numerous tests of various engines, changes in their performance indicators are shown after the introduction of the compositions into the working internal combustion engines and during the machine-tool method of manufacturing their parts.

*Keywords:* engine, composition, geomodifier, processing, friction, wear, consumption, compression.

### **Введение**

На современном этапе развития автотракторостроения встает дилемма: искать для двигателей новые источники энергии или рассматривать пути их совершенствования. В первом случае рассматривается переход на электрические двигатели [1], однако высказываются серьезные со-

мнения в том, что в Российской Федерации (РФ) и в Республике Беларусь (РБ) автотракторная техника с аккумуляторными батареями в ближайшие 50 лет станет массовым средством механизации и транспорта. Подобные сомнения основаны на следующем: для зарядки электромобилей требуется в 1,4 раза больше ресурсов, чем обычно; необходима организация соответствующей инфраструктуры; аккумуляторные батареи имеют малый ресурс по времени и по пробегу машин, а их утилизация требует значительных затрат. Для внутризаводского транспорта этот недостаток можно проигнорировать, но на магистральном транспорте, особенно с автотракторными двигателями, он является принципиальным препятствием.

Во втором случае рассматривают пути совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС), включающие повышение механического, индикаторного и эффективного КПД, снижение вредных выбросов, сокращение расхода топлива и смазки, улучшение экологических показателей. Это становится возможным при использовании принципиально новых конструкционных материалов, модификации процессов горения топлива и др. К числу таких новых материалов относятся минеральные составы природного происхождения, модифицирующие поверхности пар трения и позволяющие получить ряд новых эффектов. Наиболее распространенными из них являются серпентиниты разных структурных форм. Первое применение их относится к середине XX века [2].

*Целью данной статьи* является освещение и анализ результатов проведённых с 1990 г. по настоящее время работ по использованию геомодификаторов трения применительно к ДВС.

Идеи по применению природных минералов в различных областях техники впервые с 30-х гг. XX века сформулированы академиком В. И. Вернадским и его учеником А. Е. Ферсманом. Со второй половины 60-х гг. с развитием космонавтики, атомной промышленности минеральные материалы начали применять для обеспечения надежности техники, работающей в экстремальных условиях. По данной тематике работала, например, лаборатория института ЛИАПа под руководством д.т.н. М. С. Каткова. Теоретическое же обоснование применения слоистых кристаллических веществ как высокотемпературных твердофазных смазочных материалов впервые дала Г. П. Майорова [3], которая, однако, не рассматривала природные материалы. В исследованиях природных материалов и покрытий деталей для современной техники участвовали ряд гражданских, оборонных и научных организаций, в т. ч. институт «Механобр», ИМАШ РАН, НИИ и вузы аграрного профиля, БГАТУ. За рубежом исследования проводились в Пекинском университете Циньхуа, Финляндии, Японии, Германии.

Данные исследования (список публикаций насчитывает более 2000 наименований) убедительно подтвердили, что, например, серпентиниты являются эффективным конструкционным материалом, применяемым в виде противоизносных антифрикционных покрытий деталей машин. В 2007 г. эти представления на уровне кристаллографии оформлены в Российской Федерации как научное открытие № 323 [4]. Один из авторов данной статьи является соавтором данного открытия.

### Основная часть

Исходя из физико-механических характеристик высокодисперсных порошков слоистых гидросиликатов металлов с плоскостями из кремнекислородных соединений, положительные результаты их ввода в смазки узлов, агрегатов, например, по снижению износа, обусловлены следующим:

– высокое сродство кремния и кремнекислородных октаэдров в серпентинах к железу и к некоторым другим веществам делает возможным получение стойких покрытий на поверхностях трения;

– адгезионные связи между покрытиями из серпентинов в 80–150 раз ниже, чем у традиционных материалов, что обуславливает низкие коэффициенты их трения;

– иницилируемые порошками смесей серпентинов покрытия наращиваются при взаимодействии поверхностей трения с толщиной от долей до десятков и сотен мкм, а в отдельных случаях до 1 мм и в смазках, и на сухую.

В статье не рассматриваются технологии формирования покрытий на поверхностях деталей ДВС. Это осуществляется как безразборной обработкой ДВС (приработкой трибосостава) [5–13], так и станочным способом [14–16].

Ниже рассмотрены некоторые эффекты от ввода в масла ДВС качественных высокодисперсных серпентиновых порошков.

#### **Уменьшение механических потерь**

Весьма информативным параметром для оценки конструкции ДВС является механический КПД ( $\eta_{\text{мех}}$ ). Этот показатель можно определять, например, мотор-тестерами типа К-297 или измерительно-вычислительными комплексами (ИВК). Испытания на ДВС разных типов показали, что в штатном исполнении их механический КПД составляет:

- для бензиновых ДВС – 0,74–0,87 (рис. 1), причем КПД слабо зависит от наработки (пробега);
- для дизелей [17] – 0,70–0,87;
- для газовых ДВС – 0,75–0,80;
- для четырехтактных и двухтактных ДВС с наддувом – до 0,92.

В [18] показано, что распределение механических потерь в четырехтактном двигателе при частоте вращения  $4000 \text{ мин}^{-1}$  по узлам и механизмам следующее: ЦПГ – 43 %; аэродинамические потери – 17 %; гидравлические потери – 16 %; в ГРМ – 7 %; в масляном насосе – 3 %; в жидкостном насосе – 6 %; в подшипниках шатунов – 13 %; в коренных подшипниках – 11 %.

Результаты формирования серпентиновых покрытий на поверхностях трения в ДВС зависят от режима приработки, от объема порошка, подаваемого в зону контакта, от свойств расходного материала. Основное требование к такой приработке ДВС – наращивание покрытия толщиной хотя бы 10–20 мкм на основных поверхностях трения. При этом условии испытания на мотор-тестере ДВС легковых автомобилей показали, что механический КПД составлял 98,2–99,5 %. В частности, на автомобиле «Волга» ГАЗ 3110 механические потери снизились с 20 % до 1,2 %.

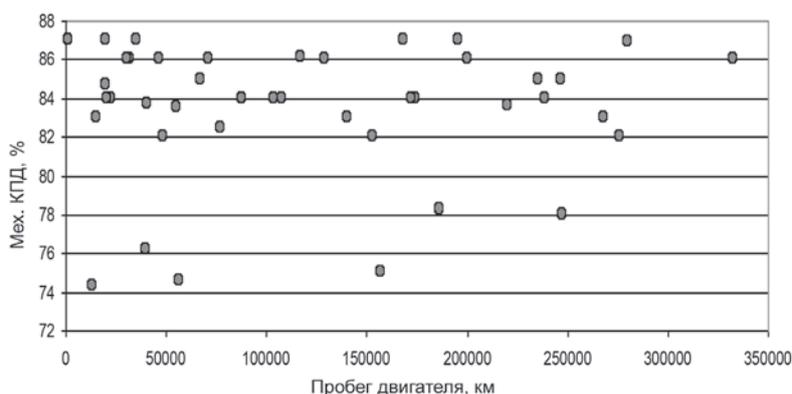


Рис. 1. Зависимость механического КПД двигателей от пробега

На рис. 2 показаны кривые изменения механического КПД от эффективной мощности для дизеля 2Ч8,5/11 в штатном состоянии, а также после модификации поверхностей трения, полученной с минеральным трибосоставом.

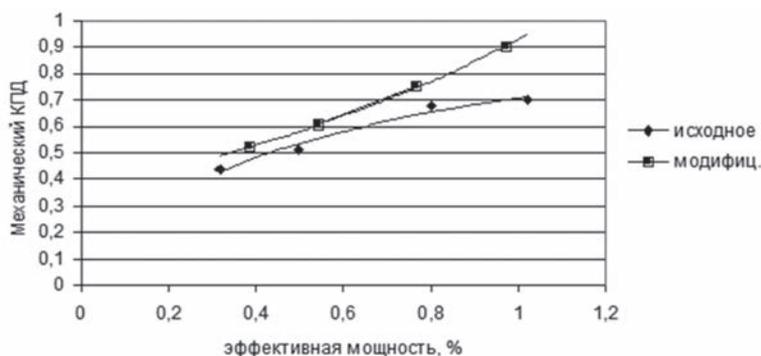


Рис. 2. Зависимость механического КПД от эффективной мощности для дизеля 2Ч8,5/11 в штатном и модифицированном состоянии

Известен большой объем испытаний различных трибосоставов на ДВС:

– в [8] Шабановым А. Ю. и Колодочкиным М. В. показаны испытания пяти составов не указанного поставщиками принципа действия:

- германский состав Liqui Moly Ceratec, содержащий «специальную микрокерамику»;
- бельгийский состав Bardahl Full Metal, обеспечивающий, по-видимому, металлоплакирующий эффект и предполагающий наличие фуллеренов C<sub>60</sub>;
- российский состав Suprotec Active Plus как геомодификатор трения;
- украинский состав XADO 1 Stage Atomic Metal Conditioner, сложно обозначенный производителем как «ревитализант и кондиционер»;
- американский состав SMT Oil Treatment как «кондиционер металла».

Составами, содержащими природные вещества, являются только Suprotec Active Plus и XADO 1 Stage Atomic Metal Conditioner.

Составы несколько изменили следующие показатели ДВС:

*Мощность.* Прирост мощности составил: 1,3 % (SMT); 2,7 % (XADO); 2,9 % (Bardahl Full Metal); 3,7 % (Liqui Moly Ceratec); 4,0 % (Suprotec). Но даже максимальные показатели сравнимы с эффектом, который дает простейший тюнинг. Наблюдалось увеличение крутящего момента ДВС, особенно в зоне низких и средних оборотов, что обеспечивает улучшение динамики автомобиля.

*Механические потери.* Снижение механических потерь составило: 5,6 % (Suprotec); 4,2 % (Bardahl Full Metal); 3,4 % (Liqui Moly Ceratec); 2,9 % (XADO); 2,5 % (SMT). Такую эффективность тюнинг не дает.

*Компрессия.* Измерялась на полностью прогретых ДВС с постоянной частотой вращения 300 мин<sup>-1</sup>. В среднем рост компрессии составил 2–3 кгс/см<sup>2</sup>, что для малоизношенных ДВС незначительно. На изношенных ДВС трибообработка дает прирост компрессии 2–10 кгс/см<sup>2</sup>.

*Расход топлива.* Обещанного рядом производителей снижения расхода на 20–30 % не наблюдалось. Получено: 7,4 % (Suprotec); 5,7 % (Bardahl Full Metal); 4,3 % (Liqui Moly Ceratec); 3,3 % (XADO); 2,5 % (SMT). Наибольшая экономия, превышающая 10 %, наблюдается на холостом ходу и при малых нагрузках, когда влияние механических потерь в ДВС максимально. В режиме номинальной мощности эффект практически исчезал. Однако в многолетних и многочисленных испытаниях, например, С. Н. Подчуфарова, И. Ф. Пустового, А. Ю. Шабанова с М. В. Колодочкиным, В. Г. Рыжова, С. Н. Шарифуллина и других снижение расхода топлива на стабильном режиме движения автомобилей достигало 7–12 %.

*Токсичность отработавших газов.* Изменение показателей лежит на границе погрешности измерений. Полученное снижение показателей по остаточным углеводородам происходило благодаря уменьшению расхода масла на угар. Двигатели после обработки составами расходовали масла на 15–45 % меньше.

Следует отметить, что после трибообработки естественно увеличивается выход окислов азота (NO<sub>x</sub>).

*Износ.* Его оценивали содержанием продуктов износа в пробах масла, а также взвешиванием поршневых колец и вкладышей подшипников. Выявлено, что составы Bardahl и Liqui Moly лучше защищают подшипники коленчатого вала, а Suprotec и XADO – поршневые кольца и цилиндры. Установлено, что продуктов износа у обработанных ДВС на 12–60 % меньше, чем у контрольного двигателя. Косвенно это соответствует увеличению ресурса ДВС.

При обкатке по 60 ч всех ДВС с составами параметры ДВС улучшились, незначительно с составом SMT, значительно – с составами Bardahl, Liqui Moly и Suprotec, но до уровня «здорового» двигателя показатели не достигли. Компрессия увеличилась до 10–15 кгс/см<sup>2</sup>, что повлияло на расход топлива и на токсичность отработавших газов. Испытания ряда специалистов геотриботехники показали, что в отдельных случаях обработанные ДВС заметно превосходили показатели новых ДВС.

По результатам исследования шатунных вкладышей, коренных вкладышей, поршневых колец выяснилось, что потери их массы снижались в 1,2–1,8 раза. Содержание продуктов износа в пробах моторного масла в целом меняется в тех же пропорциях.

*Коэффициент трения:* Он для Bardahl Full Metal, Liqui Moly Ceratec, SMT Oil Treatment изменился незначительно. Наибольшее снижение дали составы с геомодификаторами Suprotec Active Plus – с 0,049 до 0,025 и XAD01Stage AMC – с 0,070 до 0,040.

*Твёрдость поверхностей* шеек коленчатых валов двигателей после испытания увеличилась на 12 НВ только после применения состава Suprotec Active Plus.

Следует отметить, что количество геомодификатора для образования устойчивого трибопокрытия на всех поверхностях трения точно определить достаточно сложно, ряд исследователей вводили трибосоставы до 3 раз. Испытанные трибосоставы по-разному воздействовали на износ одинаковых пар трения и в основном просто тормозили изнашивание, продлевали срок службы ДВС, существенно не изменив их показатели.

Рассмотрим теперь вопрос о максимальных параметрах двигателя в случае наличия на поверхностях трения триботехнического покрытия толщиной 10–40 мкм. Для этого в [8, 12, 13, 19] приведены результаты многочисленных испытаний, в т. ч. состава «БелГео» на базе сервисного центра ОАО «МТЗ», ОАО «Любанский райагросервис», СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района Республики Беларусь.

#### ***Увеличение компрессии и восстановление ЦПГ***

Трибообработка для увеличения компрессии в цилиндрах ДВС проводится по определенной процедуре, контроль в хозяйствах РБ осуществлялся с помощью высокоточного тестера с манометром COMPRECC (Арт. 102). Результаты такой работы приведены в табл. 1.

Таблица 1. Увеличение компрессии в ДВС автотракторной техники

Марка автомобиля	Компрессия в цилиндрах, кгс/см <sup>2</sup>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Дизель Д-260.2 трактора «Беларус-1221В.2» (на базе сервисного центра ОАО «МТЗ»)								
Исходная	29	28	28,5	20	28	30	–	–
После обработки	31,5	32,5	32,5	27,9	31	32	–	–
Дизель Д-260.2 трактора «Беларус-1221В.2» (на базе ОАО «Любанский райагросервис»)								
Исходная	29,5	29	29,5	29	29,5	30,5		
После обработки	31,5	32,5	32,5	31,5	31,5	32,5		
Грузовик ЗИЛ-130								
Исходная	8,0	8,5	9,5	7,5	8,0	8,0	7,0	8,0
После обработки	8,2	12,2	10,5	10,2	9,8	10,0	11,3	9,3
А/погрузчик «Хайстер»								
Исходная	11,8	10,0	8,6	10,0	–	–	–	–
После обработки	21,0	20,0	17,0	20,0	–	–	–	–
А/погрузчик «Комасу»								
Исходная	28	28	27	28	–	–	–	–
После обработки	33	33	30	33	–	–	–	–
«ВАЗ 21093»								
Исходная	11,5	10,5	11,5	10,5				
После обработки	14,0	13,5	13,7	13,5				

При подаче значительного количества трибосостава в ДВС, а в отдельных случаях суспензии напрямую в цилиндр можно добиться полного устранения зазоров между поршнем и гильзой цилиндра. Так в ДВС автомобиля BMW X5 компрессию во всех цилиндрах довели до 16 кгс/см<sup>2</sup>.

Процесс восстановления цилиндропоршневой группы ДВС в условиях их эксплуатации отработан и приводит к желаемым результатам. При этом для успешного восстановления любых, а особенно «убитых» двигателей, необходимо предварительное и последующее диагностирование ДВС и сбор данных об истории его эксплуатации и имеющихся дефектах.

#### ***Снижение расхода топлива и смазки***

Уменьшение потерь на трение в двигателе естественно ведет и к снижению расхода топлива. Подтверждением этому являются специальные испытания, проведенных на стендах и в эксплуатации машин, тепловозов на лабораторных установках и на особом оборудовании.

В частности, два дизеля автобуса «Икарус» фирмы «RABA-MAN» прошли модификацию поверхностей деталей станочным методом в условиях авторемонтного завода. Испытания их на типовом стенде при скорости вращения  $1600 \text{ мин}^{-1}$  и постоянной нагрузке, равной 25 кВт, показали снижение 20-минутного расхода топлива для обоих двигателей в среднем с 4,7 л до 4,1 л (на 12,7 %). Сопоставление этих результатов показало, что механический КПД ДВС находится в пределах 0,96–0,97.

Другой случай: карьерный автосамосвал БелАЗ-7519 со степенью износа агрегатов 70–80 % имел перерасход топлива от нормативной величины на 3800 л/месяц. Через 4,5 месяца после модификации ходовой части и двигателя провели их дефектацию, которая показала, что все детали имеют номинальные размеры и на их поверхностях хорошо просматривалось трибопокрытие. В течение 3 последних месяцев эксплуатации автосамосвал стал потреблять топлива на 700 литров в месяц меньше норматива, что являлось минимальным расходом топлива по всему автопарку.

Сокращение расхода топлива связано не только со снижением механических потерь двигателя. При наличии трибопокрытий в камере сгорания действуют и другие факторы. Исследования [20] показали более полное сгорание топлива, инициированное покрытием и рост эффективной мощности ДВС.

Снижение расхода масла в модифицированном двигателе связано в основном со снижением расхода масла на угар. Расход смазочных масел определялся рядом организаций в ходе стендовых испытаний в течение 12 лет на различных типах дизелей [9–11]. При этом установлено, что расход масла на угар снижается в 2,5–3,5 раза, что дает возможность понизить его эксплуатационный расход минимум в два раза. В частности, для дизеля 2Ч8,5/11 расход масла на угар снижался в 3,28 раза. Данные тенденции свойственны и бензиновым двигателям.

#### *Экологические показатели*

При контроле отработавших газов бензиновых ДВС измеряют содержание в них СО. Для оценки наибольшего влияния геотрибопокрытий на этот показатель были выбраны наиболее проблемные двигатели. Так для автомобиля «Волга» ГАЗ-3110 содержание СО при  $3700 \text{ мин}^{-1}$  составило 7,5 %.

Данные измерений типовым газоанализатором по машинам, прошедшим трибомодификацию цилиндропоршневой группы, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание СО в отработавших газах автомобилей

Автомобиль	Режим	Содержание СО, %		
		Исходное состояние	Модифицированный двигатель	По федеральным нормам США
УАЗ 3909	Холостой ход	2,8	1,5	Менее 0,5
	Номинальные обороты	2,0	1,0	
Волга ГАЗ-21	Номинальные обороты	7,2	1,5–1,7	
Волга ГАЗ-24		6,4	0,8–1,2	

Данные таблицы показывают, что с геотрибопокрытиями в бензиновом ДВС происходит резкое снижение выбросов СО. Изменение в составе отработавших газов подтверждено и стендовыми испытаниями дизеля 2Ч8,5/11 с одним из разновидностей трибосостава. Однако следует учитывать, что с трибопокрытиями выброс оксидов азота (NOx) по испытаниям А. Ю. Шабанова повышается на 6,53 %.

#### *Изменение интенсивности изнашивания деталей ДВС*

Изменение интенсивности изнашивания пар трения является интегральным показателем качества поверхности. Данные по интенсивности износа узлов и деталей ДВС в литературе известны. Эти показатели для большинства деталей в зависимости от материалов колеблются от  $1,4 \times 10^{-10}$  до  $4,9 \times 10^{-12}$ . При использовании синтетических масел в отдельных зарубежных ДВС наблюдается уровень  $8,0 \times 10^{-14}$ , а в среднем  $5,0 \times 10^{-13}$  (без учета вида обработки и шероховатости поверхности).

Исследования зависимости скорости изнашивания поршневых колец судовых дизелей от эффективной мощности ( $N_e$ ) в пределах 0,25–1,0 от номинала при различном относительном числе холодных пусков двигателя [12] показали (табл. 3), что точка возникновения режима практической безызносности (т. е. невозможности установить износ имеющимися инструментальными способами при достаточно длительном испытании) была принята как  $5 \times 10^{-14}$ .

Таблица 3. Точки наступления эффекта практической безызносности

Относительное число пусков	0,05 (1 за 20 час)	0,1 (1 за 10 час)	0,125 (1 за 8 час)
Относительная эффективная мощность $N_e$ , при которой уже наступает эффект практической безызносности	0,65	0,50	0,25

Испытания дизеля 2Ч8,5/11 с одним из триботехнических составов, проведенные при повышении  $\eta_{мех}$  с 0,702 до 0,902, выявили следующее снижение скорости износа основных деталей: втулок цилиндров – в 3,5 раза, поршневых колец – в 1,8 раза, вкладышей шатунных подшипников – в 12,8 раза.

Оценка интенсивности изнашивания деталей ДВС была проведена также на рядовом автомобиле ВАЗ после ремонта ДВС с формированием геотрибопокрытий на деталях цилиндропоршневой группы. Механический КПД двигателя имел величину 0,983. После пробега 15 тыс. км интенсивность изнашивания гильз цилиндров, компрессионных колец и шейки шатунного подшипника составляла от  $1,4 \times 10^{-14}$  до  $3,7 \times 10^{-14}$ .

#### **Свойства отдельных деталей двигателя**

Пример – компрессионное кольцо ДВС автомобиля ВАЗ. Кольцо выполнено из серого чугуна. Микротвердость (прибор МНТ-4) боковых, без покрытий, поверхностей составила:  $HV = 416 \pm 64$  и  $HV = 442 \pm 54$  при нагрузке 200 г.

Кольцо с трибопокрытием рабочей поверхности проработало в ДВС в пробеге около 115 тыс. км. Определение  $\eta_{мех}$  дало величину 0,98. Рабочая поверхность кольца была зеркальная, небольшие царапины обнаружили только при увеличении в X200. Твердость рабочей поверхности с покрытием после эксплуатации достигла 1375 HV при толщине покрытия 8–9 мкм.

#### **Шток распределительного устройства системы топливоподдачи**

Деталь была изъята из того же автомобиля. Условия работы аналогичны. Материал штока – сталь 3Х13. Микротвердость поверхности без покрытия при нагрузке 200 г – 608 HV. Рабочая поверхность детали после указанного срока эксплуатации при визуальном рассмотрении и под микроскопом повреждений не имела. Микротвердость при нагрузке 200 г повысилась до 1136 HV. Толщина геопокрyтия составила 10–12 мкм.

#### **Экономические показатели**

Для потребителя интерес представляет не только стоимость автомобиля, но и эксплуатационные расходы. Для двух однотипных автомобилей «Волга» с дизельным мотором ГАЗ 310221-600 в штатном исполнении эксплуатационные затраты на 1 километр пробега составляли 1,122 руб./км, а для автомобиля с модифицированными парами трения – 0,423 руб./км. Следует отметить, что у последнего пробег был намного меньше, что снижает полученную разницу.

Для крупных предприятий интерес представляют расходы на эксплуатацию, отнесенные к стоимости техники. Так в парке из 123 единиц автотракторной и дорожной техники модифицировались в основном двигатели, некоторые механические передачи и отдельные подшипники. По результатам годичной эксплуатации вследствие трибообработки экономия средств на обслуживание техники составила 0,12 стоимости парка.

В парке легковых отечественных и импортных автомобилей численностью за время наблюдения от 89 до 63 единиц была также проведена модификация ЦПГ ДВС и некоторых механических передач машин. В результате количество капитальных ремонтов двигателей снизилось с 58 (по средним нормам) до 1 за период 12 месяцев, а экономия средств на обслуживание составила те же 0,12 стоимости техники.

## Заключение

Многочисленные и длительные гражданские и оборонные испытания на самых разнообразных ДВС, на многих других узлах и агрегатах в РФ, Финляндии, Японии, Китае, на Украине, РБ, во многих других странах Европы, Азии, Африки, Америки убедительно показали, что слоистые гидросиликаты поверхностей трения группы серпентина способствуют заметному улучшению показателей ДВС по мощности, расходу топлива и масла с превышением показателей новых ДВС, а по увеличению их эксплуатационного ресурса – в 2–3 раза.

Принципиальный вывод заключается в том, что уже сегодня можно иметь автотракторную технику с высокой надежностью механических систем. На пути к решению этой задачи стоит большое количество инженерно-технических и организационных проблем, связанных с адаптацией технологии геопокровов к условиям массового производства. Естественно, что такие технические результаты требуют изменения в организации автотракторной промышленности, поскольку, например, на Волжском автозаводе 40 % оборота составляют запасные части, поэтому применение технологии модификации трения существенно уменьшит потребность в запасных частях.

В целом облик нового двигателя представляется в следующем виде. Двигатель не требует капитального ремонта ЦПГ за весь срок службы – характеристики могут быть восстановлены в эксплуатационном режиме. Количество запасных частей для ремонта после отработки ряда технических вопросов сокращается в 3–4 раза. Полезная мощность двигателя увеличивается до 10 % и более.

Значительно увеличивается полнота сгорания топлива, снижаются вредные выбросы с отработавшими газами бензиновых ДВС, обеспечивая у них соблюдение жестких норм. Снижается удельный расход топлива, смазочных масел и стоимость эксплуатации, при этом увеличивается экспортный потенциал.

## Список использованных источников

1. Проблемы электрификации автомобильного транспорта России / С. Н. Девянин [и др.] // Двигателестроение. – 2022. – №1 (287). – С. 21–32.
2. Дерягин, Б. В. Новый закон трения, его экспериментальная проверка и применение к трению минеральных дисперсидов / Б. В. Дерягин, В. П. Лазарев // Коллоидный журнал. – 1935. – Т. 1, вып. 4. – С. 293–302.
3. Майорова, Л. А. Твердые неорганические вещества в качестве высокотемпературных смазок / Л. А. Майорова. – М.: Наука, 1971. – 95 с.
4. Свойство энергоплотных минеральных веществ изменять параметры триботехнических систем / Научное открытие № 323 / В. В. Зуев, С. Ю. Лазарев, Ю. Г. Лавров, Г. А. Денисов, Т. Л. Маринич, В. Н. Половинкин, А. П. Соловьёв, А. Н. Холин.
5. Способ формирования минеральных покрытий поверхностей деталей из металлов и сплавов : пат. RU 2262553 / С. Ю. Лазарев, М. В. Энгельке, Ю. И. Кузякин. – Оpubл. 20.10.2005.
6. Способ обеспечения минимальных механических потерь в поршневых машинах-двигателях внутреннего сгорания : пат. RU 2263217 / С. Ю. Лазарев, В. П. Филимонов, Ю. В. Холопов. – Оpubл. 27.10.2005.
7. Балабанов, В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобилей / В. И. Балабанов. – М.: Астрель\*АСТ, 2002. – 62 с.
8. Шабанов, А. Ю. Как отсрочить смерть двигателя? / А. Ю. Шабанов, М. В. Колодочкин // За рулем. – 2015. – № 9.
9. Результаты обработки двигателя МАК 8М453С высокой мощности минеральным модификатором трения Fe-do / А. В. Дунаев [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 2 (35). – С. 54–62.
10. Аратский, П. Б. Использование модификаторов трения нового поколения для повышения ресурса судовых дизелей / П. Б. Аратский, Ю. Г. Лавров, А. Ю. Шабанов // Судостроение. – 1999. – № 3. – С. 24.
11. Аратский, П. Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износа узлов ДВС / П. Б. Аратский, Ю. Г. Лавров, А. Ю. Шабанов // Двигателестроение. – 1999. – № 2. – С. 30–31.
12. Половинкин, В. Н. Применение геомодификаторов трения для восстановления изношенных поверхностей узлов трения при эксплуатации / В. Н. Половинкин, Ю. Г. Лавров, П. Б. Аратский // «СЛАВЯНТРИБО-5. Наземная и аэрокосмическая трибология – 2000: проблемы и достижения» : материалы междунар. научн.-практ. симпозиума. ВМПАВТО, РГТА. – СПб. – 2000. – С. 289–290.
13. Дунаев, А. В. Нетрадиционная триботехника для повышения ресурса автотракторной техники. Итоги 25-летнего развития / А. В. Дунаев, Е. М. Филиппова ; под ред. С. Н. Шарифуллина. – М.: ФНАЦ ВИМ, 2017. – 252 с.
14. Зуев, В. В. Природные минеральные материалы в современной технике. Теория и практика применения. Наука и технология. / В. В. Зуев, С. Ю. Лазарев // Труды XXIV Российской школы по проблемам науки и технологий. РАН. – М., 2004. – Т. 2. – С. 149–159.
15. Грушев, В. В. Промышленное применение минеральных покрытий и ультразвуковой обработки / В. В. Грушев, С. Ю. Лазарев. – Чита: ЗабГУ, 2011. – 151 с.

16. Хмелевская, В. Б. Повышение надежности судового оборудования технологическими методами : [В 3 т.] / В. Б. Хмелевская, Л. Б. Леонтьев. – Владивосток : Дальнаука, 2003–2004. – Т. 2: Триботехника покрытий и композиционных материалов. – 2004. – 282 с.
17. Шароглазов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов: Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б. А. Шароглазов, М. Ф. Фарафонов, В. В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
18. Groth K. Neuere Methoden zur Untersuchung von Reibungsverlusten in Motortriebwerken. Schiff & Hafen/ Kommandobrücke 29 (1977) 10, s. 917–923.
19. Управление надежностью сельскохозяйственной техники методами диагностики и триботехники / В. П. Миклуш [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – 392 с.
20. Способ и устройство для отбора энергии из энергоплотных веществ природного происхождения и способ его применения в газовых приборах и горелках : пат. RU 2687671 / С. Ю. Лазарев, О. И. Ефимов, О. В. Гудкова, Б. И. Турышев, В. Л. Касатонов. – Оpubл. 15.05.2019