

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОССТАНОВЛЕНИИ И УПРОЧНЕНИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

**Саматов З.А.<sup>1</sup>, Шарифуллин С.Н.<sup>1</sup>, Адигамов Н.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Филиал ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» в г. Чистополе, Чистополь (422980, Россия, Чистополь, Студенческая, д.15), e-mail: zulfat.79@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет», Казань (420015, Россия, Казань, ул. К.Маркса, 65), e-mail: n-adigamov@rambler.ru

---

**В данной работе рассматриваются высокоэффективные технологии по модернизации изношенной техники с достижением параметров выше паспортных. В частности, это технология нанесения на поверхности сопряжения деталей плунжерной пары износостойких плазменных тонкопленочных покрытий; восстановление плунжерных пар без их обезличивания и восстановление плунжерных пар методом электроискрового упрочнения. Произведен сравнительный анализ ресурса работы отечественных и зарубежных топливных насосов высокого давления. Анализ показал, что в обоих случаях схемы кинематических цепей и применяемые материалы аналогичные. В статье рассмотрены новые добавки, имеющие серпентиновую основу и обладающие высокой эффективностью. Предложенные технологии обладают универсальностью и могут использоваться для реновации изношенных поверхностей деталей с малым износом.**

---

Ключевые слова: модернизация, модификация, нанотехнология, плазма, ремонтно-восстанавливающий состав, топливный насос высокого давления, ресурс, технология, двигатель внутреннего сгорания.

## **HIGH TECHNOLOGY RESTORATION AND STRENGTHENING OF CRITICAL COMPONENTS MACHINES AND MECHANISMS**

**Samatov Z.A.<sup>1</sup>, Sharifullin S.N.<sup>1</sup>, Adigamov N.N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Branch FGAOU VPO "Kazan (Volga) Federal University" in Chistopol, Chistopol (422980, Russia, Chistopol, Student, 15), e-mail: zulfat.79@mail.ru

<sup>2</sup> FGBOU VPO "Kazan State Agrarian University", Kazan (420015, Russia, Kazan, ul. Marx, 65), e-mail: n-adigamov@rambler.ru

---

**This paper discusses the enabling technologies to modernize worn-out equipment with higher achievement parameters passport. In particular, this technology is applied to the mating surface wear-resistant parts plunger assembly plasma thin film deposition; recovery plunger without depersonalization and restore plunger method of electric hardening. A comparative analysis of the site of domestic and foreign high pressure fuel pumps. The analysis showed that in both cases the circuit kinematic chains and similar materials used. The article discusses the new additives having serpentine base and with high efficiency. The proposed technology has the versatility to be used for the renovation of worn surfaces of parts with low wear.**

---

Keywords: modernisation, modification, nanotechnology, plasma, repair-evocative composition, petrolift high-pressure, resource, technology, combustion engine.

На сегодня государственная техническая политика направлена на модернизацию изношенной техники, в том числе и сельскохозяйственной, на основе применения высокоэффективных технологий под названием нанотехнологии. Правда, власть об этой модернизации много говорит, но в реалии мало что делается. Под модернизацией изношенной техники понимается ее восстановление с достижением параметров выше паспортных.

В данном материале мы остановимся на технологиях увеличения ресурса работы топливных насосов высокого давления (ТНВД) автотракторных дизельных двигателей и

технологии безразборного восстановления изношенных поверхностей узлов трения машин и механизмов.

Практика показывает, что порядка 25 – 30 % всех отказов дизельных двигателей приходится на топливную аппаратуру (Рис 1).

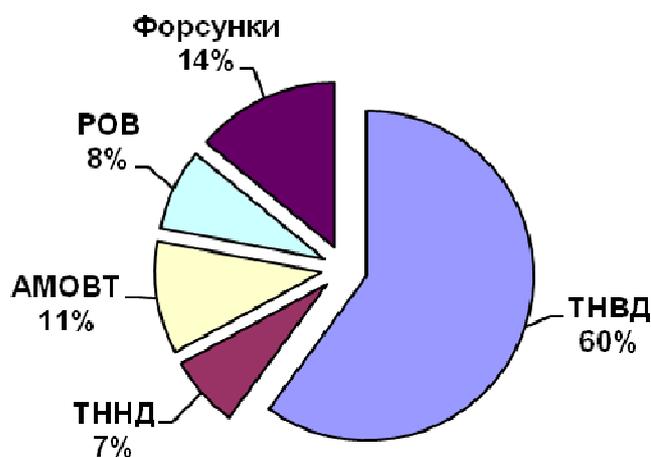


Рисунок 1 – Распределение отказов топливной аппаратуры по узлам

Из этих отказов 60 % доли относится к ТНВД. Согласно ГОСТу, ТНВД отечественных автотракторных дизельных двигателей (АТДД) должны иметь ресурс работы 5 тыс. мото-часов. В реальности их ресурс не превышает и 3 тыс. мото-часов. У зарубежных ТНВД ресурс работы более 10 – 12 тыс. мото-часов. Анализ показал, что в обоих случаях схемы кинематических цепей и применяемые материалы аналогичные. Но высокий ресурс работы зарубежных ТНВД относительно отечественных насосов обеспечивается за счет:

- первое, более медленного износа рабочей зоны плунжера плунжерной пары вследствие более короткой длины кинематической цепи силового привода насоса;
- второе, большей износостойкости поверхностей сопрягаемых деталей подвижных соединений кинематической цепи силового привода насоса;
- и третье, малого зазора в плунжерных парах.

Мы имеем несколько высокоэффективных технологий, которые позволяют приблизить ресурс работы отечественных топливных насосов к ресурсу работы зарубежных ТНВД. Покажем это на примере модернизации плунжерных пар.

**Технология 1. Нанесение на поверхности сопряжения деталей плунжерной пары износостойких плазменных тонкопленочных покрытий.** Плазменные покрытия сочетают в себе одновременно однородность, а при необходимости и пористость структуры, высокую прочность сцепления (адгезию) с основой, повышенную твердость, высокую износостойкость, требуемый химический состав и т. д. Эти необычные свойства плазменных покрытий достигаются благодаря использованию возможностей широкого спектра энергетических, тепловых и газодинамических характеристик низкотемпературной плазмы

газового разряда. Такие покрытия возможны и потому, что формирование покрытия происходит при осаждении частиц на подложку в атомарном и молекулярном состоянии. При этом за счет регулирования режимов нанесения толщина покрытия может не превышать всего нескольких микрометров.

В данной технологии покрытиями могут быть покрытия из нитрида титана, полученные ионно-плазменным способом, или кремнийуглеродосодержащие покрытия, полученные путем осаждения продуктов плазмохимических реакций различных углеводородных паров в дуговом разряде атмосферного давления. Отметим, что твердость таких покрытий имеет более 20 ГПа. Поэтому абразивные частицы, такие как гранит и кварц, с твердостью порядка 12 МПа, попадая в зазор плунжерной пары, будут размалываться. Следовательно, эти частицы не смогут оставить своих следов на рабочих поверхностях плунжерной пары. Кроме того, регулируя толщину покрытия от долей микрометра, можно одновременно обеспечить зазор в плунжерной паре менее 1 мкм и тем самым увеличить развиваемое плунжерной парой давление, от которого также зависит ресурс работы ТНВД.

Имеется закон изменения развиваемого плунжерной парой давления от наработки [5]

$$A^{kt} = 0,1(p_0 - p) + 1, \quad (1)$$

где  $A$  – постоянная, характеризующая влияние начальной плотности в плунжерной паре;  $k$  – коэффициент, учитывающий интенсивность износа плунжерных пар;  $t$  – продолжительность эксплуатации;  $P_0$  – исходное развиваемое плунжерной парой давление;  $p$  – развиваемое плунжерной парой давление при наработке  $t$ .

Переходя от плунжерной пары к ТНВД и учитывая, что его наработка определяется ресурсом работы плунжерных пар по формуле (1), можно найти и ресурс работы ТНВД  $t_n$

$$t_n = \frac{\lg\{0,1(p_0 - p_{пред}) + 1\}}{k \cdot \lg A}, \quad (2) \quad \text{где}$$

$\delta_{пред}$  – предельно допустимое в эксплуатации давление плунжерной пары. Для

отечественных ТНВД  $\delta_{пред} = 20$  МПа.

На основе приведенных формул и разработанную нами теоретическую модель были построены характеристики работы ТНВД с заводской плунжерной парой с  $P_0 = 70$  МПа (1) и плунжерной парой с плазменным покрытием на основе оксикарбонитрида кремния плунжера с  $P_0 = 120$  МПа (2).

Как видно из графиков рис. 2, плазменное износостойкое покрытие на плунжере позволяет в 3 раза увеличить ресурс работы ТНВД дизельных двигателей.

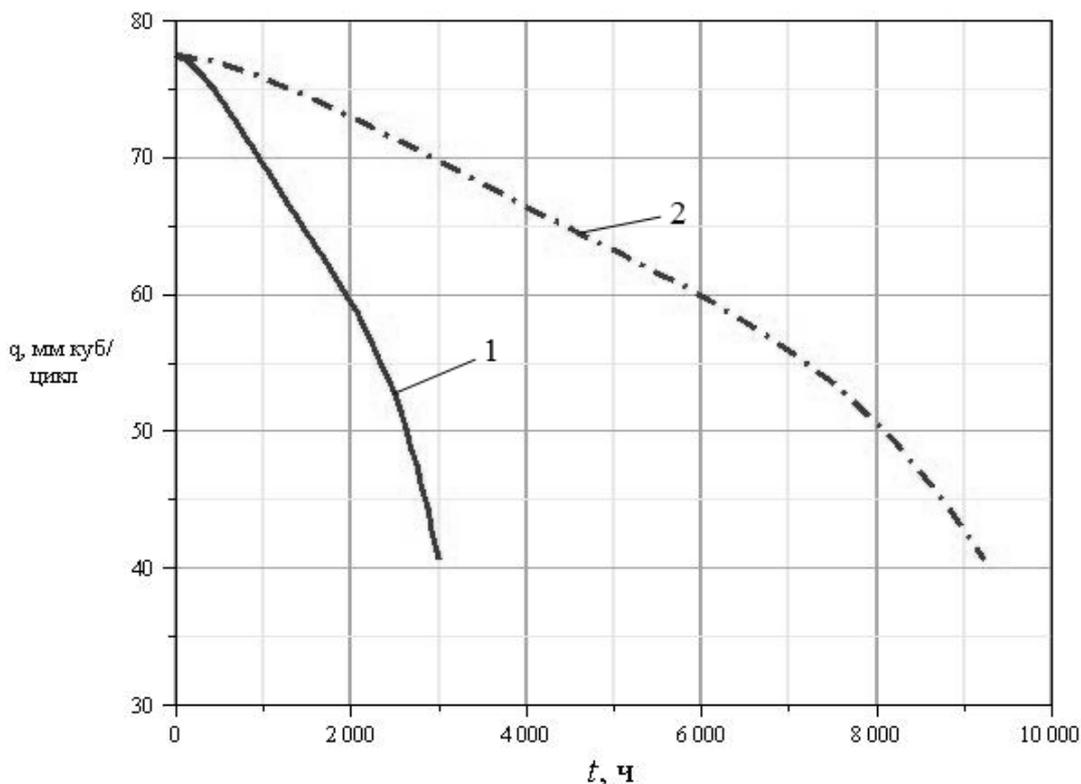


Рисунок 2 – Закономерности характеристик работы ТНВД с заводской плунжерной парой с  $P_0 = 70$  МПа (1) и плунжерной парой с плазменным покрытием на основе оксикарбонитрида кремния плунжера с  $P_0 = 120$  МПа.

**Следующая технология увеличения ресурса работы ТНВД. Это – технология восстановления плунжерных пар без их обезличивания.** Здесь с плунжера и втулки удаляются следы износа. Далее на поверхность плунжера наносится хромовое или никелевое покрытие толщиной 25 – 30 мкм. Затем производится совместная притирка и доводка плунжера и втулки. Для плунжеров с никелевым покрытием напыляют нитрид титана толщиной 2 – 3 мкм и затем проводят дополнительную совместную доводку плунжерной пары. После плунжерную пару проверяют на качество по одному из следующих параметров: гидроплотности, развиваемому давлению, производительности, зазору между гильзой и плунжером или подачи топлива.

**Третья технология увеличения ресурса работы ТНВД. Это – технология восстановления плунжерных пар методом электроискрового упрочнения.** Известно, что основной износ в плунжерной паре происходит в зоне активного хода плунжера, длина которого составляет порядка 8 – 10 мм. Величина износа доходит до 10 – 12 мкм на сторону. Данный износ можно устранить за счет электроискрового упрочнения изношенной поверхности плунжера втулки. Упрочнение основы происходит на глубину порядка 0,3 мм, упрочненный слой увеличивается ~ на 20 мкм, а его твердость становится порядка 70 HRC (Рис. 3).

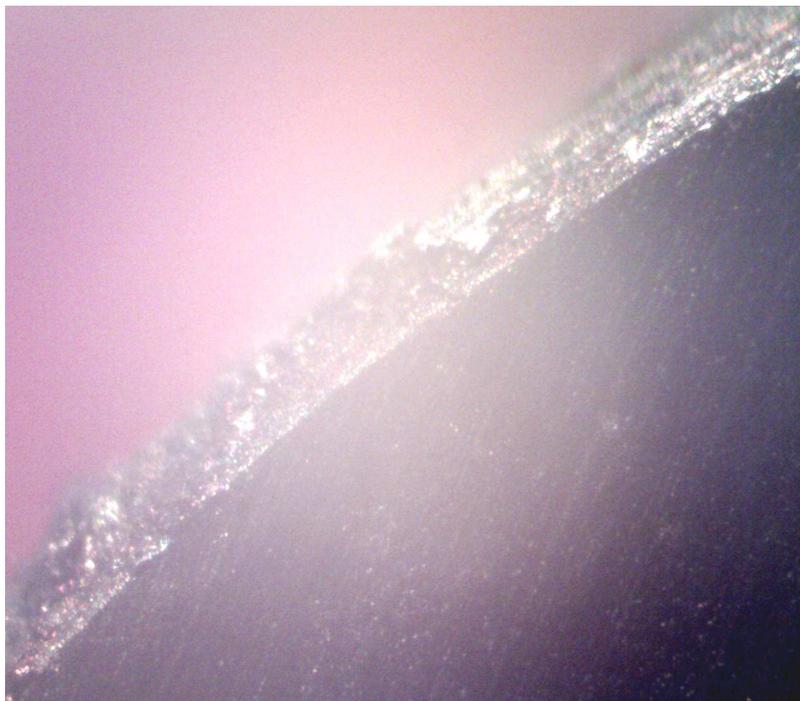


Рисунок 3 – Фотография упрочненного слоя стали Ст. 3 электроискровым методом. Увеличение 100 крат. Размер фотографии 1,6x1,2 мм

Предложенная технология восстановления плунжерных пар после упрочнения деталей требует их притирки и совместной доводки. Данная технология находится в стадии разработки. По ней есть определенные вопросы. В частности, шероховатость исходной поверхности резко ухудшается (Рис. 4).



а



б

Рисунок 4 – Фотографии поверхности плунжера плунжерной пары до (а) и после (б) плазменного упрочнения. Увеличение 100 крат. Размер фотографий 1,6x1,2 мм

**Выводы по изложенной части:**

1. Предложены новые высокоэффективные технологии модернизации деталей плунжерных пар топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей.
2. Предложенные технологии обладают универсальностью и могут использоваться для реновации изношенных поверхностей деталей с малым износом.

**Кратко о технологии безразборного восстановления изношенных поверхностей узлов трения машин и механизмов.**

Сущность этой технологии заключается в том, что специальный состав, под названием РВС добавка, вводится в штатную масляную систему или консистентную смазку. Затем препарат транспортируется маслом на поверхности узлов трения и под влиянием давления, температуры и трибоплазмы создает условия для возврата продуктов износа на изношенные места поверхности с частичным или полным восстановлением геометрических размеров деталей. При этом происходит образование слоев с высокой износостойкостью и малым коэффициентом трения. В результате происходит так называемая безыносная эксплуатация техники [3].

На сегодня многие РВС добавки имеют серпентенитовую основу. Серпентениты – это некие каменные образования. Их возраст более миллиона лет. В табл. 1 представлен элементный состав РВС добавок основных Российских производителей. Как видно, во всех РВС добавках основными химическими элементами являются магний, кремний и железо. Почти во всех составах присутствуют алюминий, кальций, хром, марганец и никель. Из таблицы также следует, что РВС добавки разных производителей имеют примерно одинаковый элементный состав. Процентный состав этих добавок с учетом погрешностей также близок.

Таблица 1 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа РВС добавок

№	Наименование составов	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cl
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	Порошок для ТНВД, «STANRUS – NEW TECHNOLOGY», Подчуфаров С.Н. – Москва	38,5	1,9	40,2			0,7		0,7	0,2	16,8	0,9			
2	Порошок для ТНВД, ООО «Триггер», Рыжов В.Г. – Ногинск	36,8	2,6	46,1					1,5	0,2	11,8	1,0	0,1		
3	РВС состав для диз. двигателей (АРТ технология), ООО «Неосфера», Павлов О.Г. – СПб	32,0	1,6	47,9		3,1	2,7		0,8	0,4	9,9	1,6			
4	Порошок для мало изношенных ДВС и гидроусилителей, ООО «РеалИнПроект», Пустовой И.Ф. – СПб	30,1	3,2	43,1		4,5	1,7		0,7	0,4	14,6	1,7		0,1	

Как следует из разных источников [1, 2, 4] , практически все РВС добавки при обработке поверхностей узлов трения машин и механизмов обладают эффективностью. Их основной эффект заключается в следующем:

- повышение ресурса работы деталей, машин и механизмов в 2 – 3 раза;
- снижение потребления электроэнергии на 10 – 20% (станки, генераторы, нагнетатели);
- увеличение интервалов замены масел и смазок в 1,5 – 2,5 раза.

### **Список литературы**

1. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений. – М.: МГАУ, 1999. – 60 с.
2. Дунаев А.В. Обзор применения триботехнических препаратов для безразборного ремонта сопряжений трения / Материалы XII международной научно-практической конференции ГОСНИТИ, Москва, 12-13 октября 2004 г. – М., 2006.
3. Заславский Р.Н. Опыт практического применения технологии безыносной эксплуатации узлов трения / Р.Н. Заславский, В.И. Новиков // Материалы научно-технической конференции «Трибология – машиностроению». 1 – 2 октября 2008 г. – М.: ИМАШ РАН, 2008.
4. Пустовой И.Ф. 14-летний опыт Питерской РВС-технологии. / Труды ГОСНИТИ. – М., 2011. – Т. 107. – Ч.2. – С. 38-40.
5. Шарифуллин С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей. – Дисс. докт. техн. наук. –М., 2009. –368 с.

### **Рецензенты:**

Галиев И.Г., д.т.н., профессор кафедры «Механизации в АПК» Филиал ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» в г. Чистополе, г. Чистополь.

Нафиков М.М., д.с.-х.н., профессор кафедры «Экономика АПК» Филиал ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» в г. Чистополе, г. Чистополь.