

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЕВОМ РЫЖИКОВО-МИНЕРАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

**Уханов Александр Петрович<sup>1</sup>**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика»

**Ротанов Евгений Геннадьевич<sup>2</sup>**, кандидат технических наук, доцент

**Хохлов Антон Алексеевич<sup>3</sup>**, аспирант кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

<sup>2</sup>Технологический институт - филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1; тел.: 89278314897; e-mail: khokhlov.73@mail.ru

**Ключевые слова:** дизель, топливный насос высокого давления, плунжерная пара, дизельное топливо, смесевое топливо, ресурс.

В процессе эксплуатации автотракторной техники параметры технического состояния топливной аппаратуры изменяются, в основном по причине износа ее узлов и агрегатов. По результатам анализа изношенных прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей выявлено, что они подвергаются, главным образом, абразивному износу частицами, содержащимися в дизельном топливе и проникающими через фильтрующие элементы топливных фильтров. Одним из перспективных методов снижения износа, а следовательно, и повышения ресурса прецизионных пар, в частности плунжерных пар (плунжера и втулки) топливных насосов высокого давления (ТНВД), является использование минерального дизельного топлива с добавлением в него рыжикового масла. Теоретическими расчетами установлено, что абразивная частица углубляется в поверхности плунжера и втулки в результате силы, действующей на частицу при сжатии втулки (во время обратного хода плунжера), до тех пор, пока кольцевой зазор между плунжером и втулкой не достигнет начального размера. Отсюда следует, что глубина внедрения абразивной частицы зависит от ее диаметра и начального кольцевого зазора. Получена формула для расчета ресурса плунжерной пары при работе ТНВД на смесевом рыжиково-минеральном топливе с различным содержанием растительного и минерального компонентов. Результаты расчетов показывают, что при работе ТНВД на минеральном дизельном топливе ресурс плунжерной пары составляет 2455 часов, при увеличении содержания рыжикового масла в смесевом топливе до 50 % наблюдается рост ресурса до 3846 часов, а при дальнейшем увеличении доли (более 50 %) рыжикового масла в смесевом топливе ресурс стабилизируется.

### Введение

Надежная и качественная работа дизельной топливной аппаратуры зависит от конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. В процессе эксплуатации автотракторной техники происходит изменение параметров технического состояния топливной аппаратуры, в основном по причине износа ее узлов и агрегатов.

Анализ изношенных прецизионных пар топливной аппаратуры дизельных двигателей показал, что такие пары подвергаются, главным образом, абразивному износу частицами, содержащимися в дизельном топливе и проникающими через фильтрующие элементы топливных фильтров [1, 2, 3, 4, 5, 6].

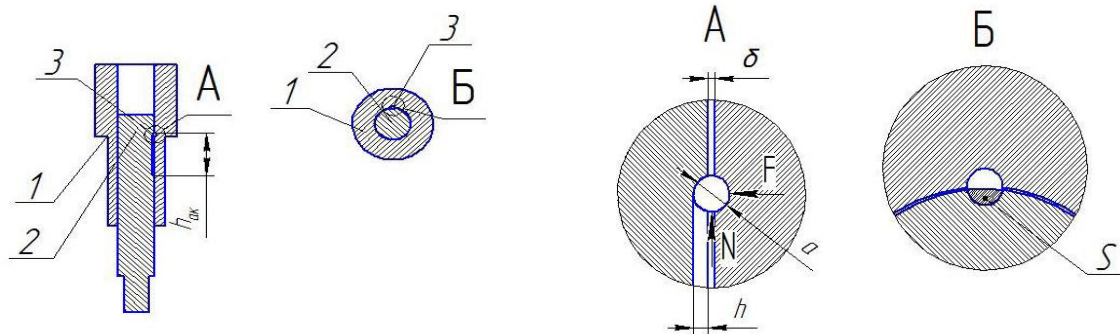
Мельчайшие частицы, попадая в зазоры прецизионных пар, изнашивают их и увеличивают первоначальные зазоры, вследствие чего изменяются рабочие процессы впрыскивания топлива, смесеобразования и сгорания (давление, продолжительность, качество распыла, даль-

нобойность струи и др.). При этом двигатель не развивает необходимой мощности, повышается расход топлива и увеличивается содержание вредных веществ в отработавших газах. Кроме того, износу деталей топливной аппаратуры способствует недостаточная смазывающая способность товарного минерального (нефтяного) дизельного топлива [7, 8].

Одним из перспективных методов снижения износа, а следовательно, и повышения ресурса прецизионных пар, в частности плунжерных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД), является использование минерального дизельного топлива с добавлением в него рыжикового масла [9, 10].

Объекты и методы исследований

Результатом абразивного изнашивания является объемный износ, т. е. объем материала,  $m^3$ , удаленного абразивными частицами, попавшими в зазор между плунжером и втулкой, с поверхности пар трения за время работы плунжерной пары:



**Рис. 1 – К определению объема удаленного материала при образовании царапины на поверхности трения:** 1 – втулка; 2 – плунжер; 3 – абразивная частица;  $h_{ак}$  – путь частицы;  $\delta$  – начальный кольцевой зазор между плунжером и втулкой;  $a$  – диаметр абразивной частицы;  $h$  – глубина внедрения абразивной частицы;  $F$  – давление на абразивную частицу при сжатии втулки;  $N$  – давление, действующее на абразивную частицу при движении плунжера;  $S$  – площадь сегмента внедренного участка частицы

$$l_v = V \cdot K \cdot n \cdot t, \quad (1)$$

где  $V$  – объем материала, удаленного с поверхности трения одной абразивной частицей,  $m^3$ ;  $K$  – число абразивных частиц, попадающих в зазор за один ход плунжера;  $n$  – количество ходов плунжера в час,  $1/ч$ ;  $t$  – время работы плунжерной пары, ч.

В момент нагнетания топлива плунжером насосной секции ТНВД созданное давление действует на стенки втулки плунжерной пары, что приводит к увеличению кольцевого зазора между плунжером и втулкой и проникновению в него абразивных частиц большего диаметра, чем начальный кольцевой зазор. Допустим, что абразивная частица имеет форму сферы, втулка и плунжер движутся относительно абразивной частицы, которая внедряется одновременно в плунжер и втулку плунжерной пары, закрепляется на одной из поверхностей (в основном на втулке) и прорезает канавку на другой поверхности трения (рис. 1).

Объем,  $m^3$ , материала, удаленного при образовании царапины на поверхности трения одной из деталей плунжерной пары,

$$V = S \cdot h_{ак}, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь сегмента сферы внедренного участка частицы,  $m^2$ ;  $h_{ак}$  – активный ход плунжера (путь трения), м.

Площадь сегмента,  $m^2$ , сферы внедренного участка частицы

$$S = 2R^2 \sqrt{2 - \sqrt{2 + 2\sqrt{1 - \frac{2Rh - h^2}{R^2}}} - (R - h)\sqrt{2Rh - h^2}}, \quad m^2, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус сферы абразивной частицы, м;  $h$  – глубина внедрения абразивной частицы, м.

Глубина внедрения, м, абразивной частицы

$$h = \frac{\sqrt{F^2 + \left(\frac{Fv}{2g} + fF\right)^2}}{\pi \cdot R \cdot \sigma_{0,2}} \quad (4)$$

где  $F$  – давление на абразивную частицу, Па;  $N$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $v_{cp}$  – средняя скорость плунжера, м/с;  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести материала, Па.

Коэффициент трения зависит от вязкости топлива и нагрузки, приходящейся на единичную абразивную частицу [11]:

$$f = \eta \frac{v_{cp}}{\delta \cdot F}, \quad (5)$$

где  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости,  $H \cdot c/m^2$ ;  $\delta$  – начальный кольцевой зазор между плунжером и втулкой, м.

Предварительные расчеты по формуле (4) показали, что абразивная частица углубляется в поверхности плунжера и втулки в результате действия силы  $F$  при сжатии втулки (во время обратного хода плунжера) до тех пор, пока кольцевой зазор между плунжером и втулкой не достигнет начального размера. Отсюда следует, что глубина внедрения абразивной частицы, м, зависит только от диаметра ее сферы и начального кольцевого зазора:

$$h = R - \frac{\delta}{2}. \quad (6)$$

Подставив в формулу (3) выражение (6), получим:

$$S = 2R^2 \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R} - \frac{\delta}{2}} \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}}, \quad m^2. \quad (7)$$

Тогда объем,  $m^3$ , удаленного материала

$$V = 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R} - \frac{\delta}{2}}} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}} \cdot h_{ак}. \quad (8)$$

При уменьшении или увеличении вязкости топлива изменяется его расход через кольцевой зазор между плунжером и втулкой, а также количество абразивных частиц, попавших в зазор вместе с топливом. Расход топлива,  $\text{м}^3/\text{с}$ , через кольцевой зазор между плунжером и втулкой определяют по уравнению Гагена-Пуазейля [12]:

$$Q = \frac{\pi \cdot d_{\text{вт}} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)}{12 \cdot \nu \cdot \rho_m \cdot l_{\text{эм}}}, \quad (9)$$

где  $d_{\text{вт}}$  – диаметр втулки плунжерной пары, м;  $P_n$  – давление топлива в надплунжерном пространстве, Па;  $P_z$  – давление топлива в дополнительной полости ТНВД, Па;  $\nu$  – кинематическая вязкость топлива,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\rho_m$  – плотность топлива,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $l_{\text{эм}}$  – длина зазора в направлении утечек (длина втулки плунжерной пары), м.

Количество абразивных частиц, попавших в зазор между плунжером и втулкой за один ход плунжера,

$$K = \frac{\pi \cdot d_{\text{эм}} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)}{12 \cdot \eta \cdot \rho_m \cdot l_{\text{эм}}} \cdot k \cdot \tau_{\text{ак}}, \quad (10)$$

где  $k$  – количество абразивных частиц в  $1 \text{ м}^3$  топлива;  $\tau_{\text{ак}}$  – время активного хода плунжера, с.

Время активного хода  $\tau_{\text{ак}}$  плунжера зависит от его средней скорости движения  $u_{\text{сп}}$ , м/с, и длины активного хода  $h_{\text{ак}}$ , м, т. е.

$$\tau_{\text{ак}} = \frac{u_{\text{сп}}}{h_{\text{ак}}}, \text{ с.} \quad (11)$$

Число абразивных частиц можно определить турбидиметрическим методом анализа загрязненности топлива водой и механическими примесями [13]. При этом размер частиц не должен превышать максимального кольцевого зазора плунжерной пары в момент нагнетания топлива [14, 15, 16].

Число ходов (рабочих циклов) плунжера в час  $N_x$  зависит от часового расхода топлива:

$$N_x = \frac{4 \cdot G_q}{\pi \cdot d_{\text{эм}}^2 \cdot h_{\text{ак}} \cdot \rho_m \cdot b}, \text{ с.}, \quad (12)$$

где  $G_q$  – часовой расход топлива,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  $b$  – количество насосных секций.

Подставив в формулу (1) выражения (8), (10) и (12), получим формулу для расчета объемного износа в результате абразивного изнашивания за время работы плунжерной пары:

$$I_v = \left( 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}} \right) \cdot h_{\text{ак}} \cdot \frac{G_q \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)}{3 \cdot d_{\text{эм}} \cdot \nu \cdot \rho_m^2 \cdot l_{\text{эм}} \cdot b} \cdot \frac{v_{\text{сп}}}{h_{\text{ак}}} \cdot k \cdot t, \text{ м}^3. \quad (13)$$

Если условно распределить объемный износ равномерно по кольцевому зазору плунжерной пары, то получим увеличение кольцевого зазора вследствие износа плунжерной пары на величину  $\Delta\delta$ :

$$\Delta\delta_i = \frac{\left( 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}} \right) \cdot G_q \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)}{2\pi \cdot r_e \cdot h_{\text{ак}}} \cdot \frac{v_{\text{сп}}}{b} \cdot k \cdot t, \text{ м} \quad (14)$$

Максимальное увеличение кольцевого зазора вследствие износа плунжерной пары до критического значения составит [2]:

$$\Delta\delta_u = \delta_{\text{кр}} - \Delta\delta_p - \delta,$$

где  $\delta_{\text{кр}}$  – критический кольцевой зазор, м;  $\Delta\delta_p$  – увеличение кольцевого зазора при повышении давления в надплунжерном пространстве насосных секций ТНВД, м.

Исходя из равенства  $\Delta\delta_i = \Delta\delta_u$ , определим ресурс плунжерной пары ТНВД:

$$T_p = \frac{\pi \cdot d_{\text{эм}} \cdot h_{\text{ак}} \cdot \Delta\delta_u}{\left( 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R} - \frac{\delta}{2}} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}} \right) \cdot G_q \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)} \cdot \frac{v_{\text{сп}}}{b} \cdot k, \text{ ч.}$$

Таким образом, ресурс плунжерной пары ТНВД зависит от размера абразивных частиц, попавших в зазор «плунжер – втулка», зазора в сопряжении «плунжерны-втулка», часового расхода топлива, количества абразивных частиц, вязкости и плотности топлива, средней скорости и активного хода плунжера, а также от степени деформации втулки плунжерной пары.

Результаты исследований

Проведя по формуле (15) расчет ресурса плунжерной пары при работе ТНВД на смешанном рыжиково-минеральном топливе с различной концентрацией компонентов, получили графическую зависимость, представленную на рисунке 2.

Анализ полученной зависимости показал, что при работе ТНВД на минеральном дизельном топливе (по оси абсцисс – 0 % РыжМ) ресурс плунжерной пары составляет 2455 часов. При увеличении содержания рыжикового масла в смешанном топливе до 50 % наблюдается рост ресурса до 3846 часов, а при дальнейшем увеличении доли (более 50 %) рыжикового масла в смешанном топливе ресурс плунжерной пары стабилизируется.

**Выводы**

Проведенные теоретические исследо-

вания показали, что для снижения износа и повышения ресурса плунжерных пар ТНВД целесообразно использовать смесевое рыжиково-минеральное топливо с содержанием рыжикового масла в смесевом топливе до 50 %.

### Библиографический список

1. Уханов, Д.А. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением смесового рапсово-минерального топлива: монография / Д.А. Уханов, А.П. Уханов, Е.Г. Ротанов, А.С. Аверьянов. – Пенза: ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2017. - 185 с.
2. Болдашев, Г.И. Использование альтернативных топливо-смазочных материалов в автотракторной технике: монография / Г.И. Болдашев, А.П. Быченин, О.С. Володько. – Кинель: РИО Самарской ГСХА, 2017. - 169 с.
3. Быченин, А.П. Влияние растительных компонентов на трибологические свойства топлив для автотракторных дизелей / А.П. Быченин, О.Н. Черников, М.С. Приказчиков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2017. - Том 2, № 3. - С. 12-15.
4. Быченин, А.П. Влияние смесевых минерально-растительных топлив на ресурс прецизионных пар топливоподающей аппаратуры дизельных двигателей / А.П. Быченин, М.А. Быченина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013. - № 3. - С. 54-59.
5. Быченин, А.П. Влияние биокомпонентов на трибологические свойства смесевых минерально-растительных топлив / А.П. Быченин, М.А. Быченина, В.В. Ефимов // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения: сборник научных трудов. – Кинель: Самарская ГСХА, 2016. - С. 395-398.
6. Болдашев, Г.И. Влияние рыжикового масла на противоизносные свойства смесового топлива / Г.И. Болдашев, А.П. Быченин, М.С. Приказчиков, М.А. Быченина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 3. - С. 92-95.
7. Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation, Version 1c. – July 2017 [Электронный ресурс] / R. Edwards, M. Padella, J. Giuntoli, R. Koeble, A. O'Connell, C. Bulgheroni, L. Marelli // Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017. – 102 p. – Режим

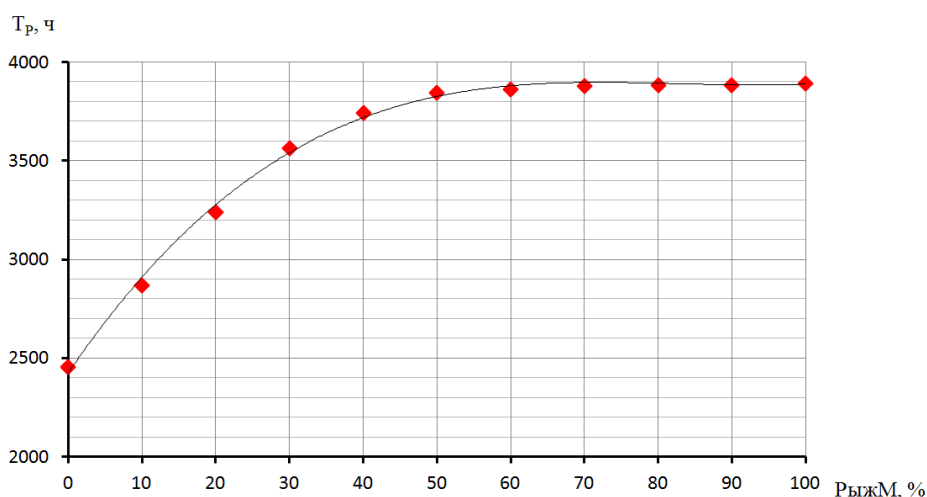


Рис. 2 – Зависимость ресурса плунжерной пары  $T_p$  от процентного содержания рыжикового масла РыжМ в смесевом рыжиково-минеральном топливе

доступа: [https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_en](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en) (Дата обращения: 04.03.18).

8. Markov, V.A. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V.A. Markov, S.S. Loboda, V.G. Kamaltdinov // Procedia Engineering 2. Sep. «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016», - Chelyabinsk: LLC Elzevir, 2016. - P. 225-234.
9. Уханов, А.П. Перспективы использования возобновляемых биологических источников энергии предприятиями АПК России / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов, А.А. Гузьев // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2016. - С. 238-244.
10. Физические свойства рыжиково-минерального топлива / А.П. Уханов, А.А. Хохлов, А.Л. Хохлов, В.А. Голубев, Е.А. Хохлова // Международный научно-исследовательский журнал International research journal. – 2017. – № 05 (59). – Екатеринбург: ООО «Компания ПОЛИГРАФИСТ. – С. 124–128.
11. Коновалов, А.В. Методика выбора сталей для их использования в условиях скольжения по закрепленному абразиву [Электронный ресурс] / А.В. Коновалов, В.Ф. Пичугин, О.Ю. Елагина // РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина Нефтегазовое дело, – 2004. - № 2. -Режим доступа: <http://www.ogbus.ru> (Дата обращения: 17.04.18).
12. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.
13. Уханов, А.П. Теоретическая оценка турбиметрического метода анализа загрязненности дизельного топлива водой и механическими примесями / А.П. Уханов, Ю.В. Гуськов, И.Н. Калячкин

// Повышение эффективности использования автотракторной и сельскохозяйственной техники: межвузовский сборник научных трудов XVI региональной научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С. 33- 37.

14. Теоретическая оценка критического кольцевого зазора плунжерных пар ТНВД при работе на смешанных дизельных топливах / Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов, А.А. Хохлов, А.А. Валиуллин, Д.В. Новиков // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы. Материалы

Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. - С. 121-123.

15. Влияние дизельного смесового топлива на износ плунжерных пар ТНВД / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов, А.С. Аверьянов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. - № 3. – С. 105-108.

16. Уханов, А.П. Снижение износа плунжерных пар ТНВД в результате применения рационального состава дизельного топлива / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. - № 2 (18). – С. 46-51.

## THEORETICAL EVALUATION OF PLUNGER PAIR RESOURCE OF HIGH PRESSURE FUEL PUMP IN CASE OF WORKING ON MIXED CAMELINA OIL - MINERAL FUEL

Ukhanov A.P.<sup>1</sup>, Rotanov E. G.<sup>2</sup>, Khokhlov A. A.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>FSBEI HE Penza SAU, <sup>2</sup>FSBEI HE Ulyanovsk SAU  
<sup>3</sup>432017, Ulyanovsk, Novyy Venets Boulevard, 1;  
Phone: 89278314897; e-mail: khokhlov.73@mail.ru

*Keywords:* diesel, high-pressure fuel pump, plunger pair, diesel fuel, mixed fuel, resource.

Parameters of technical condition of fuel equipment change in the process of operation of automotive equipment, mainly, due to the wear of its components and assemblies. According to the analysis of worn precision pairs of fuel equipment of diesel engines, it has been revealed that they are mainly subject to abrasive wear by particles in diesel fuel, which penetrate through filter elements of fuel filters. One of the promising methods of reducing wear, and therefore increasing the life of precision pairs, in particular, plunger pairs (plunger and barrel) of high-pressure fuel pumps, is the use of mineral diesel fuel with the addition of camelina oil. Theoretical calculations have proved that the abrasive particle deepens in the surface of the plunger and barrel as a result of the force acting on the particle when the barrel is compressed (during the return stroke of the plunger) until the annular gap between the plunger and the barrel reaches its initial size. This implies that the depth of penetration of the abrasive particle depends on its diameter and the initial annular gap. A formula has been devised for calculating the life of a plunger pair when the fuel pump is operated on a mixture of camelina oil - mineral fuel with a different content of vegetable and mineral components. The calculation results show that when the fuel pump is operated on mineral diesel fuel, the life of the plunger pair is 2455 hours, in case of increase of camelina oil in the mixed fuel to 50%, the resource increases to 3846 hours, and with a further increase (more than 50%) of camelina oil in the fuel, the resource stabilizes.

### Bibliography

1. Ukhanov, D.A. A decrease of wear of plunger pairs of high pressure pump with the use of mixed rapeseed-mineral fuel: monograph / D.A. Ukhanov, A.P. Ukhanov, E.G. Rotanov, A.S. Averyanov. - Penza: FSBEI HE Penza SAU, 2017. - 185 p.
2. Boldashev, G.I. Usage of alternative fuel-lubricants in automotive engineering: monograph / G.I. Boldashev, A.P. Bychenin, O.S. Volodko. - Kinel: Publishing department of Samara State Agricultural Academy, 2017. - 169 p.
3. Bychenin, A.P. Effect of plant components on the tribological properties of fuels for automotive diesel engines / A.P. Bychenin, O.N. Chernikov, M.S. Prikazchikov // Izvestiya of Samara State Agricultural Academy. - 2017. - Volume 2, No. 3. - P. 12-15.
4. Bychenin, A.P. Influence of mixed mineral-plant fuels on the life of precision pairs of fuel-supplying equipment of diesel engines / A.P. Bychenin, M.A. Bychenina // Izvestiya of Samara State Agricultural Academy. - 2013. - No. 3. - P. 54-59.
5. Bychenin, A.P. Influence of biocomponents on the tribological properties of mixed mineral-vegetable fuels / A.P. Bychenin, M.A. Bychenina, V.V. Efimov // Current problems of agrarian science and ways to solve them: a collection of scientific works. - Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2016. - P. 395-398.
6. Boldashev, G.I. Influence of camelina-oil on anti-wear properties of mixed fuel / G.I. Boldashev, A.P. Bychenin, M.S. Prikazchikov, M.A. Bychenina // Izvestiya of Samara State Agricultural Academy. - 2015. - No. 3. - P. 92-95.
7. Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation, Version 1c. – July 2017 [electronic resource] / R. Edwards, M. Padella, J. Giuntoli, R. Koebler, A. O'Connell, C. Bulgheroni, L. Marelli // Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017. – 102 p.– access mode: [https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate\\_en](https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate_en) (access date: 04.03.18).
8. Markov, V.A. Improvement of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V.A. Markov, S.S. Loboda, V.G. Kamaltdinov // Procedia Engineering 2. Ser. «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016», - Chelyabinsk: LLC Elzevir, 2016. - P. 225-234.
9. Ukhanov, A.P. Prospects of use of renewable biological energy sources by enterprises of the agro-industrial complex of Russia / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, E.A. Khokhlova, A.A. Khokhlov, A.A. Guzyaev // Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions: materials of the VII International Scientific and Practical Conference. - Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agricultural Academy, 2016. - P. 238-244.
10. Physical properties of camelina oil-mineral fuel / A.P. Ukhanov, A.A. Khokhlov, A.L. Khokhlov, V.A. Golubev, E.A. Khokhlova // International Research Journal. - 2017. - No. 05 (59). - Ekaterinburg: ООО « Company POLYGRAPHIST. » - P. 124-128.
11. Konovalov, A.V. A method for selecting steels for their use in conditions of sliding along a fixed abrasive [Electronic resource] / A.V. Konovalov, V.F. Pichugin, O.Yu. Elagina // RSU of oil and gas named after I.M. Gubkin Oil and Gas Business, - 2004. - No. 2. -Regime of access: <http://www.ogbus.ru> (access date: 17.04.18).
12. Bashta, T.M. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives / T.M. Bashta - M.: Mechanical Engineering, 1982. - 422 p.
13. Ukhanov, A.P. Theoretical evaluation of the turbidity method for analyzing the contamination of diesel fuel with water and mechanical impurities / A.P. Ukhanov, Yu.V. Guskov, I.N. Kalyachkin // Efficiency increase of autotractor and agricultural machinery: the interuniversity collection of scientific works of the XVI regional scientific and practical conference of higher educational institutions of the Volga region and the Cis-Ural region. - Penza: publishing department of PSAA, 2005. - P. 33-37.
14. Theoretical evaluation of the critical annular gap of plunger pairs of high-pressure pump when working on mixed diesel fuels / D.A. Ukhanov, E.G. Rotanov, A.A. Khokhlov, A.A. Valiullin, D.V. Novikov // Operation of automotive engineering: experience, problems, innovations, prospects. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. - Penza: publishing department of PSAA, 2013. - P. 121-123.
15. Influence of diesel mixed fuel on wear of plunger pairs of fuel pump / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, E.G. Rotanov, A.S. Averyanov // Izvestia of Samara State Agricultural Academy. - 2011. - No. 3. - P. 105-108.
16. Ukhanov, A.P. Decrease of wear of plunger pairs of fuel pump as a result of application of rational composition of diesel fuel / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, E.G. Rotanov // Technology of wheeled and caterpillar vehicles. - 2015. - No. 2 (18). - P. 46-51.