

**УДК 621.651**

**Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Васин В.А., Макаренко Д.И.,  
Магомедов Р.А., Кобозев М.А.**

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР**

*ФГБОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет*

**UDC 621.651**

**Lebedev A.T., Lebedev P.A., Vasin V.A., Makarenko D.I.,  
Magomedov R.A., Kobozev M.A.**

**INCREASE OF THE RESOURCE OF PLUNGER PAIRS**

*FGBOU VPO Stavropol State Agrarian University*

*В данном докладе предложена теоретическая модель формирования ресурса прецизионных пар. Представлено экспериментальное подтверждение теоретической модели.*

*Ключевые слова: ресурс, рабочая поверхность, износостойкое покрытие, износ, топливная аппаратура.*

*In article the theoretical model of formation of a resource of precision pairs is offered. Experimental confirmation of theoretical model is presented.*

*Keywords: resource, working surface, wearproof covering, wear, fuel equipment.*

Повышение эффективности эксплуатации дизельной техники в первую очередь связано не только со снижением расхода топлива при выполнении производственных процессов, но и с повышением надежности ее основных узлов, агрегатов, соединений и деталей. Основной причиной отказа дизельных двигателей является системы питания, в основном из-за изнашивания плунжерных пар. В результате износа рабочих поверхностей плунжера и втулки происходит изменение размеров и формы деталей, изменение шероховатости,

механических свойств и износостойкости, образование задиров, рисок, царапин и других дефектов.

Рабочие поверхности плунжеров и втулок обеспечивают подачу топлива с высоким давлением, поэтому в зоне контакта рабочих поверхностей, должна обеспечиваться максимальная герметизация, для предотвращения перетекания топлива в зазор. В тоже время минимизация этого зазора без применения дополнительных мер и материалов приводит к схватыванию контактируемых поверхностей.

Рассмотрим прогнозирование параметрической надежности рабочих поверхностей с износостойким покрытием. Скорость изнашивания покрытия  $\alpha$  - случайная величина с плотностью распределения  $f(\alpha)$ , остальные параметры модели не варьируются. Модель формирования параметрического отказа для этого случая показана на рисунке 1. Дополнительная временная ось  $S_{\max}$  определяет момент полного износа покрытия.

Для нахождения плотности вероятности выхода монотонно изменяющегося во времени параметра  $u(t)$  за некоторые границы  $[R_1, R_2]$  была получена следующая зависимость [1]:

$$F(t) = -\frac{d}{dt} \int_{R_1}^{R_2} f_1(u/t) \cdot du \quad (1)$$

где  $f_1(u/t)$  - плотность распределения параметра  $u$  в момент времени  $t$ .

Очевидно, что при постоянной скорости изнашивания будем иметь

$$f_1(u/t) = f(u/t) \frac{1}{t} \quad (2)$$

Плотность вероятности полного износа покрытия равна

$$F(t) = -\frac{d}{dt} \int_0^a f(u/t) \cdot du = -\frac{d}{dt} \int_0^{a/t} f(\alpha) \cdot d\alpha = \frac{a}{(t)^2} \cdot f\left(\frac{a}{t}\right) \quad (3)$$

Для рабочих поверхностей, изготовленных из однородного материала, выражение (3) определяет плотность вероятности постепенного износового отказа. Для многослойной детали результат (3) является промежуточным, необходимым для оценки полного износа трущегося элемента.

В связи с тем, что скорость изнашивания основного материала в данном случае постоянна, плотность распределения постепенного износового отказа  $F(t)$  соответствует плотности  $F(t')$  с учетом сдвига временного аргумента

$$t' = t - \gamma, \quad (4)$$

где  $\gamma = (S_{max} - a) / \beta$ . Здесь  $S_{max} = [u(t)]$  - предельный износ;  $a$  - толщина покрытия;  $\beta$  - скорость износа основного материала.

Отсюда следует

$$F(t) = - \frac{d}{dt} \int_0^{\frac{a}{t-\gamma}} f(\alpha) \cdot d\alpha = \frac{a}{(t-\gamma)^2} \cdot f\left(\frac{a}{t-\gamma}\right) \quad (5)$$

Тогда вероятность безотказной работы за время  $T$  будет равна

$$P(T) = 1 - \int_0^T q(t) \cdot dt \quad (6)$$

В частности, при нормальном законе распределения скорости изнашивания покрытия  $f(\alpha)$  вероятность безотказной работы определяется соотношением:

$$P(T) = 0,5 + \Phi\left(\frac{b - M_\alpha(t-\gamma)}{\sigma_\alpha(t-\gamma)}\right) \quad (7)$$

где  $M_\alpha$  - математическое ожидание скорости изнашивания.

Для обеспечения минимального зазора в плунжерной паре предлагается наносить на рабочие поверхности деталей алмазоподобное тонкопленочное покрытие на основе оксикарбида кремния, которое обладает высокой микротвердостью, низким коэффициентом трения и препятствует схватыванию контактируемых поверхностей [2, 3]. Данный способ нанесения тонкопленочных покрытий, новизна которого подтверждена патентом на изобретение [4], может быть использован для повышения износостойкости и долговечности и других прецизионных деталей топливной аппаратуры, которые оказывают влияние на неравномерность топливоподачи дизельными энергосредствами. Применение предлагаемой технологии позволяет не только увеличить ресурс прецизионных деталей, но и снизить общий расход топлива при выполнении сельскохозяйственных работ [5, 6].

При проведении эксперимента было установлено, что у серийных и экспериментальных плунжерных пар скорость изнашивания максимальна при максимальном давлении в зоне контакта и максимальной скорости относительного перемещения, поэтому расчет ресурса производился относительно этих данных. Основываясь на полученных вычислениях получена модель формирования постепенного отказа (рис. 2) серийных и экспериментальных плунжерных пар.

При максимальных значениях давления в зоне контакта и скорости относительного перемещения, процесс изнашивания рабочих поверхностей заводских и экспериментальных плунжерных пар будет происходить со скоростью  $\beta_1^c = 9 \text{ мкм}$  и  $\beta_1^3 = 0,85 \text{ мкм}$  за 1000ч соответственно. При такой скорости изнашивания ресурс заводских плунжерных пар составит  $T_{min}^c = 2500 \text{ ч}$ , что в 2,4 раза меньше ресурса экспериментальных. При минимальных значениях давления в зоне контакта и скорости относительного перемещения, скорость изнашивания рабочих поверхностей заводских и экспериментальных плунжерных пар составит  $\beta_2^c = 5,5 \text{ мкм}$  и  $\beta_2^3 = 0,57 \text{ мкм}$  за 1000ч соответственно. При таких показателях ресурс экспериментальных плунжерных пар составит  $T_{max}^3 = 9000 \text{ ч}$ , что в 2,25 раза больше ресурса заводских плунжерных пар.

Таким образом, формирование тонкопленочных износостойких покрытий на рабочих поверхностях плунжерных пар позволяет обеспечить не только повышение ресурса в 2,25... 2,4 раза, но и снизить общий расход топлива при выполнении сельскохозяйственных работ [7, 8].

Список литературы:

1. Инженерия поверхности деталей / А. Г. Суслов [и др.] ; под ред. А. Г. Сулова. - М. : Машиностроение , 2008. - 320 с.

2. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Повышение износостойкости плунжера топливного насоса / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №1. – С. 23-24.
3. Лебедев А.Т., Лебедев П.А. Восстановление работоспособности плунжерных пар / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. - №1. – С. 24-25.
4. Пат. 2423214 Российская Федерация, В23Р6/00 (2006.01). Способ восстановления прецизионных деталей [Текст]/ А.Т. Лебедев, Р.А. Магомедов, П.А. Лебедев [и др.]. - №2009147528/02; заявл. 21.12.2009; опубл. [10.07.2011](#). Бюл. №19. - 9 с.
5. Лебедев А.Т., Лебедев П.А., Васин В.А. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры / Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - №7. – С. 43-45.
6. Лебедев П.А., Лебедев А.Т. Режимы работы двигателей и расход топлива / Сельский механизатор. – 2011. - №12. – С. 30-31.
7. Лебедев П.А. Способы снижения расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных работ / П.А. Лебедев, В.С. Цховребов, В.А. Халюткин, В.А. Васин, Б.В. Малюченко // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. Т. 7. № 3. С. 47-49.
8. Лебедев П.А. Улучшение параметров топливоподачи топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Техника в сельском хозяйстве. – 2011. - №6.- С. 25-26.

The literature list:

1. Engineering of a surface of details / And. G.Suslov [etc.]; under the editorship of And. G.Suslov. - M: Mechanical engineering, 2008. - 320 with.
2. Lebedev A.T., Lebedev P. A. Wear resistance increase плунжера the fuel pump / Mechanization and agriculture electrification. - 2010. - №1. - with. 23-24.
3. Lebedev A.T., Lebedev P. A. Working capacity restoration плунжерных steam / Mechanization and agriculture electrification. - 2010. - №1. - with. 24-25.

4. A stalemate. 2423214 Russian Federation, B23P6/00 (2006.01). A way of restoration of precision details [Text] / A.T.Lebedev, R.A.Magomedov, P.A.Lebedev [etc.]. - №2009147528/02; 21.12.2009;. [10.07.2011](#). №19. - 9 with.
5. Lebedev A.T., Lebedev P. A, Vasin V. A. Increase of efficiency of diesel fuel equipment / Tractors and сельхозмашины. - 2011. - №7. - With. 43-45.
6. Lebedev P. A, Lebedev A.T.operating mode of engines and the fuel expense / the Rural machine operator. - 2011. - №12. - with. 30-31.
7. Lebedev P. A. Ways of decrease in the expense of fuel at performance of agricultural works / P.A.Lebedev, V.S.Tshovrebov, V.A.Haljutkin, V.A.Vasin, B.V.Maljuchenko//the Bulletin of agrarian and industrial complex of Stavropol Territory. - 2012. T. 7. № 3. With. 47-49.
8. Lebedev P. A. Improvement of parametres топливоподачи fuel pumps of a high pressure of diesel engines / Technics in agriculture. - 2011. - №6. - with. 25-26.