

УДК 621.436

## РЕСУРС ДЕТАЛЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ «ПОРШНЕВАЯ КАНАВКА – ПОРШНЕВОЕ КОЛЬЦО» ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.Л. Хохлов, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 89279843479, [chochlov.73@mail.ru](mailto:chochlov.73@mail.ru),

А.А. Глущенко, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 89374564933, [oildel@yandex.ru](mailto:oildel@yandex.ru),

Д.М. Марынин, кандидат технических наук, старший преподаватель,  
тел. 89278220025, [margin25@mail.ru](mailto:margin25@mail.ru),

А.Г. Башаев, студент инженерного факультета,  
тел. 89278275158, [artem.baschaev@yandex.ru](mailto:artem.baschaev@yandex.ru)  
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА

**Ключевые слова:** поршень, сопряжение, износ, трение, ресурс

В данной статье представлена методика и результаты расчета ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо»

**Введение.** В настоящее время в сельском хозяйстве эксплуатируется более 3 млн. двигателей, основная часть которых, после капитального ремонта. Ресурс двигателей прошедших капитальный ремонт составляет 30...47 % ресурса новых двигателей, а затраты средств на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты двигателей увеличивается в 5...6 раз.

К деталям, лимитирующим ресурс двигателя, в первую очередь относятся детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ), отказы которых в основном связаны с износом. Наиболее нагруженной деталью ЦПГ является поршень двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Одним из выбраковочных критериев поршня являются геометрические параметры первой поршневой канавки, так как детали сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» изнашиваются больше, чем другие [1].

**Материалы и методы исследований.** При расчете ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» можно сделать следующие допущения: размер гильзы цилиндра остается неизменным; взаимное перемещение трущихся поверхностей поршневого кольца и поршневой канавки осуществляется в радиальном направлении с изменением угла контакта в зависимости от направления движения поршня; упругость кольца остается неизменной.

Ресурс деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» может быть оценена по изменению зазора деталей сопряже-

ния «поршневая канавка – поршневое кольцо» [2].

$$T_c = t_n \left( \sqrt[{\alpha}]{\frac{\Delta s_{np}}{\Delta s}} \right), \quad (1)$$

где  $t_n$  – наработка, ч;  $\alpha$  – показатель степени функции изменения параметра;  $\Delta s_{np} = s_{np} - s_n$  – предельное изменение зазора деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», мм;  $\Delta s = s_3 - s_n$  – текущее изменение зазора деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», мм;  $s_{np}$  – предельный зазор деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», мм;  $s_n$  – номинальный зазор деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо», мм;  $s_3$  – зазор деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» после наработки, мм.

Зазор деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» после наработки определяется (рис. 1):

$$s_3 = h_{13} - h_{23}, \quad (2)$$

где  $h_{13}$  – высота поршневой канавки после наработки, мм;  $h_{23}$  – высота поршневого кольца после наработки, мм.

Высота поршневой канавки после наработки

$$h_{13} = h_1 + 2i_1, \quad (3)$$

где  $h_1$  – высота поршневой канавки, мм;  $i_1$  – износ поршневой канавки, мм.

Высота поршневого кольца после наработки

$$h_{23} = h_2 + 2i_2, \quad (4)$$

где  $h_2$  – высота поршневого кольца, мм;  $i_2$  – износ поршневого кольца, мм.

Износ поршневой канавки

$$i_1 = L_1 \times I_1, \quad (5)$$

где  $L_1$  – путь трения поршневой канавки, мм (рис. 2);  $I_1$  – интенсивность изнашивания поршневой канавки мм/мм.

Износ поршневого кольца

$$i_2 = L_2 \times I_2, \quad (6)$$

где  $L_2$  – путь трения поршневого кольца, мм (рис. 2);  $I_2$  – интенсивность изнашивания поршневого кольца, мм/мм.

Путь трения поршневой канавки [2]

$$L_1 = t_2 - s_{np}, \quad (7)$$

где  $t_2$  – радиальная толщина поршневого кольца, мм;  $s_{np}$  – зазор между деталями в сопряжении «гильза цилиндра – поршень», мм. ¢

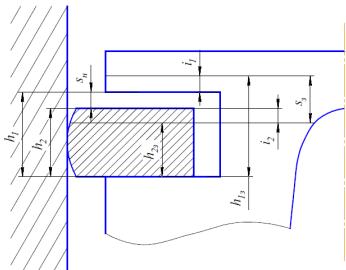


Рисунок 1 - К расчету ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо»

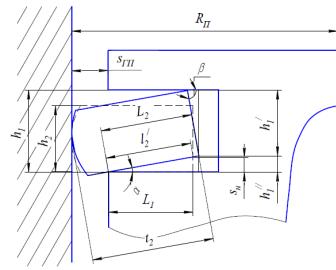


Рисунок 2 - К расчету пути трения деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо»

Путь трения поршневого кольца [2]

$$L_2 = \frac{h_1 \left[ s_i^2 + (t_2 + s_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - h_2 (t_2 + s_i)}{s_i}, \quad (8)$$

Интенсивность изнашивания поршневой канавки [3]

$$I_1 = \frac{\frac{1}{2\nu} \cdot F_{a1}^{\frac{1-2\nu}{2\nu}} \cdot P_1^{\frac{2\nu-1}{2\nu}}}{HV_1 \cdot n \cdot (\nu_2 + 1)} \cdot \left( \frac{\varepsilon_2 \cdot h_{\max 2} \cdot \nu_2}{8 \cdot r_2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (9)$$

где  $p_a$  – давление цилиндровых газов на поршневое кольцо, МПа;  $P_1$  – сила, действующая на поршневую канавку, Н;  $\varepsilon_2$  – безразмерная величина, характеризующая относительное сближение поверхности поршневого кольца;  $h_{\max 2}$  – максимальная высота неровности трущихсяся поверхности поршневого кольца, мм;  $\nu_2$  – константа, характеризующая геометрию поверхности поршневого кольца в зависимости от вида механической обработки;  $HV_1$  – микротвердость материала поршневой канавки, МПа;  $n$  – число циклов до разрушения единичной неровности;  $r_2$  – радиус закругления неровности трущихсяся поверхности поршневого кольца, мм.

Интенсивность изнашивания поршневого кольца

$$I_2 = \frac{\frac{1}{2\nu} \cdot F_{a2}^{\frac{1-2\nu}{2\nu}} \cdot P_2^{\frac{2\nu-1}{2\nu}}}{HV_2 \cdot n \cdot (\nu_1 + 1)} \cdot \left( \frac{\varepsilon_1 \cdot h_{\max 1} \cdot \nu_1}{8 \cdot r_1} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

где  $P_2$  – сила, действующая на поршневое кольцо, Н;  $\varepsilon_1$  – безразмерная величина, характеризующая относительное сближение поверхности поршневой канавки;  $h_{max1}$  – максимальная высота неровности трущихся поверхностей поршневой канавки, мм;  $v_1$  – константа, характеризующая геометрию поверхности поршневой канавки в зависимости от вида механической обработки;  $HV_2$  – микротвердость материала поршневого кольца, МПа;  $r_1$  – радиус закругления неровности трущихся поверхностей поршневой канавки, мм.

С учетом зависимостей (2-10) формула ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» (1) примет окончательный вид:

$$T_c = t_n \left( \sqrt{\frac{S_{np} - S_n}{2C}} \right), \quad (11)$$

$$C = \left[ \frac{p_a^{\frac{1}{2v}} \cdot F_{a1}^{\frac{1-2v}{2v}} \cdot P_1^{\frac{2v-1}{2v}}}{HV_1 \cdot n \cdot (v_2 + 1)} \cdot \left( \frac{\varepsilon_2 \cdot h_{max2} \cdot v_2}{8 \cdot r_2} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot (t_2 - s_{pp}) \right] -$$

где

$$- \left[ \frac{p_a^{\frac{1}{2v}} \cdot F_{a2}^{\frac{1-2v}{2v}} \cdot P_2^{\frac{2v-1}{2v}}}{HV_2 \cdot n \cdot (v_1 + 1)} \cdot \left( \frac{\varepsilon_1 \cdot h_{max1} \cdot v_1}{8 \cdot r_1} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{h_1 \left[ s_n^2 + (t_2 + s_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - h_2 (t_2 + s_n)}{s_n} \right].$$

**Результаты и их обсуждение.** Как видно из формулы (11), ресурс деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» зависит от микротвердости поршневой канавки  $HV_2$ , степени чистоты механической обработки  $v$ ,  $b$  и свойств материала  $\sigma_s$ ,  $r$ ,  $h_{max}$ ,  $\Gamma$ ,  $R_b$ .

**Заключение.** Таким образом, для повышения ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» необходимо в первую очередь повысить микротвердость поршневой канавки  $HV_2$ , например, формированием оксидированного слоя на рабочих поверхностях головки поршня. Увеличение микротвердости поршневой канавки ( $HV_2$ ), при прочих равных условиях, приведет к повышению ресурса ( $T_c$ ) деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» и цилиндропоршневой группы двигателя.

#### Библиографический список

1. Марынин, Д.М. Теоретическое обоснование снижения износа деталей сопряжения «поршневая канавка – поршневое кольцо» / Д.М. Марынин, А.Л.

- Хохлов, А.А. Глущенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии . – 2015. - № 4(32). – С. 168-172.
2. Зейнетдинов, Р.А Теоретическое обоснование повышения ресурса деталей сопряжения «поршневая канавка - поршневое кольцо» Р.А. Зейнетдинов, А.А. Глущенко / Известия Международной академии аграрного образования. 2016. №30. С. 26-30.
  3. Марьин, Д.М. Теоретические предпосылки к снижению интенсивности изнашивания рабочих поверхностей поршневой канавки поршня ДВС / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко // Наука и Мир. - 2015. - № 11 (27). - С. 75-77.
  4. Березин, Е.Б. Двигатель УМЗ-421. Устройство, ремонт, эксплуатация, техническое обслуживание / Е.Б. Березин. – Ульяновск: ОАО «Волжские моторы», 2002. – 150 с.

## **THE RESOURCE DETAIL INTERFACE «PISTON GROOVE PISTON RING» OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

*Chochlov A.L., Glushchenko A.A., Marin D.M., Bashaev A.G.*

**Keywords:** *piston, pair, wear, friction, resource*

*This article presents the methodology and results of resource calculation details pairing «piston groove piston ring»*