

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА НА ИЗНОС ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД

Уханов Александр Петрович, доктор технических наук, профессор;
Уханов Денис Александрович, доктор технических наук, профессор
ФГОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»,
тел.: (8412) 62-85-17, E-mail: ukhanov.penza@mail.ru

Ротанов Евгений Геннадьевич, старший преподаватель преподаватель, Техно-
логический институт-филиал ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА»,
433511, г. Димитровград, ул. Куйбышева, 310, тел. 8(84235) 7-37-61
Тел.: 89084875242, E-mail: rotanoff@gmail.com

Ключевые слова: плунжерные пары, износ, дизельное смешанное топливо.

Предложена методика теоретической оценки абразивного износа плунжерных пар, позволяющая определить ресурс плунжерных пар при использовании дизельного смешанного топлива с разным содержанием рапсового масла.

Надежная работа дизеля во многом зависит от степени износа узлов и агрегатов топливной аппаратуры. Наиболее подвержены износу прецизионные узлы топливного насоса высокого давления (ТНВД) и форсунок.

Экологические стандарты, применяемые к качеству минерального (нефтяного) дизельного топлива (ДТ), предусматривают низкое содержание в нем серы. Однако в процессе технологического удаления серных примесей в топливе уменьшается процентное содержание соединений, отвечающих за его смазывающие свойства. Пониженные смазывающие свойства минерального ДТ приводят к повышенному износу плунжерных пар и других прецизионных сопряжений топливной аппаратуры.

Альтернативным моторным топливом является дизельное смешанное топливо, состоящее из минерального топлива и рапсового масла (РМ), трибологические, физические и химические свойства которого способны обеспечить эффективное смазывание прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры. Влияние смешанного рапсово-минерального топлива на технико-экономические и экологические показатели дизеля достаточно изучено в нашей стране и за рубежом [1], в то время как влияние состава такого топлива на износ плунжерных

пар мало изучены.

Большинство исследователей считает, что плунжерные пары подвергаются абразивному износу частицами механических примесей [2]. Так как в растительно-минеральном топливе также не должно содержаться механических примесей, будем считать, что количество абразивных загрязнений в смешанном и минеральном топливах одинаково.

Процесс абразивного износа плунжерных пар происходит следующим образом [3]. При нагнетании топлива под действием давления втулка плунжера расширяется, при этом увеличивается окружной зазор. При наполнении надплунжерного объема давление топлива практически отсутствует, деформации плунжера и втулки минимальны и попавшие ранее в увеличенный зазор «плунжер-втулка» абразивные частицы заземляются в нем. При этом плунжер как бы «выдергивается» из заклинивших его частиц, которые оставляют следы на поверхности плунжера и втулки.

Загрязняющие механические примеси условно подразделяют на три размерные группы (рис. 1): группа А – частицы, имеющие размер меньший или равный зазору между плунжером и втулкой (эти частицы свободно проходят в зазор и влияют на износ, когда плунжер прижимается к одной

стороне втулки); группа Б – частицы, имеющие размер немного больший зазора между плунжером и втулкой (такие частицы попадают между плунжером и втулкой вследствие деформации втулки под действием высокого давления во время нагнетания топлива, заклиниваются при обратном ходе плунжера, нанося наибольший абразивный ущерб); группа В – частицы, имеющие размер больший, чем зазор между плунжером и втулкой (такие частицы не попадают в зазор и практически не влияют на абразивный износ).

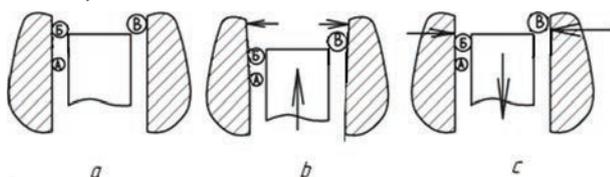


Рис. 1. Модель износа плунжерных пар ТНВД: *a* – плунжер не движется; *b* – нагнетание топлива; *c* – обратный ход плунжера

Размер абразивного зерна и поверхностная твердость материала наряду с давлением и трение играют важную роль в механизме износа. Допустим, что абразивное зерно имеет круглую форму, а втулка и плунжер движутся относительно абразивного зерна. Массовый абразивный износ, кг,

$$G = VKn\rho_m t, \quad (1)$$

где V – объем удаленного материала 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; ρ_m – плотность материала плунжерной пары, kg/m^3 ; t – время работы плунжерной пары, ч.

Абразивное зерно внедряется одновременно в плунжер и втулку плунжерной пары, закрепляется на одной из поверхностей и прорезает канавку на другой поверхности трения (рис. 2).

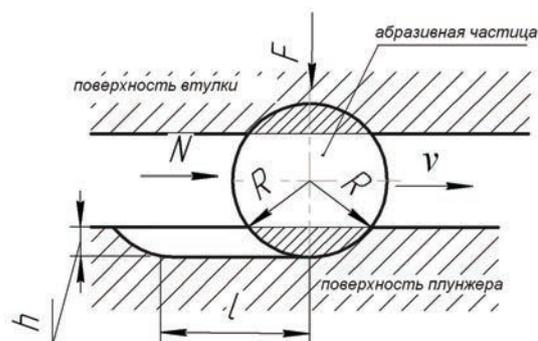


Рис.2. К определению объема удаленного материала при образовании царапины на поверхности трения: h – глубина внедрения абразивной частицы; l – путь частицы; F – сила, действующая на абразивную частицу при сжатии втулки плунжера; N – сила, действующая на абразивную частицу при движении плунжера со скоростью v ; R – радиус абразивной частицы

Объем удаленного материала, m^3 , при образовании царапины на поверхности трения

$$V = Sh_{ак}, \quad (2)$$

где S – площадь сегмента окружности внедренного участка частицы, m^2 ; $h_{ак}$ – путь трения, м.

Площадь сегмента окружности внедренного участка частицы

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

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

Предварительные расчеты глубины внедрения частицы по методике Коновалова А.В., Пичугина В.Ф., Елагиной О.Ю. [4] показали, что абразивная частица размером до 10 мкм под давлением, действующем на частицу при сжатии втулки плунжера (во время обратного хода плунжера), внедряется в поверхность плунжера и втулки до тех пор, пока зазор между плунжером и втулкой не достигнет первоначального значения. Отсюда следует, что глубина внедрения, м, абразивной частицы зависит только от зазо-

ра и радиуса попавшей в зазор частицы:

$$h = R - \frac{\delta}{2}, \quad (4)$$

где δ – зазор между плунжером и втулкой без влияния давления на втулку, м;

Подставив в формулу (3) вместо h выражение (4), получим:

$$S = 2R^2 \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R}}} - \frac{\delta}{2} \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}, \text{ м}^2 \quad (5)$$

Диаметр d абразивного зерна, попавшего в зазор, зависит от величины зазора между плунжером и втулкой δ , из чего следует: $d = \delta$.

При увеличении вязкости топлива увеличивается диаметральный зазор пары δ на величину $\Delta\delta$, при этом некоторый процент частиц из группы В переходит в группу Б (рис.1), увеличивая абразивный износ. Увеличение зазора $\Delta\delta$ рассчитывают по методике расчета толстостенных цилиндров академика А.В.Гадолина:

$$\Delta\delta = \frac{r_e}{E} \left[P_n \left(\frac{r_n^2 + r_e^2}{r_n^2 - r_e^2} + \mu \right) - 2P_n \cdot \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_e^2} \right], \text{ м}, \quad (6)$$

где E – модуль упругости, принимаем $E=2 \times 10^{11}$, Па; P_n – давление в надплунжерной полости, Па; P_n – наружное давление, Па; r_n и r_e – соответственно наружный и внутренний радиусы втулки плунжера, м; μ – коэффициент Пуассона для материала втулки.

Давление в надплунжерной полости, Па,

$$P_n = P_\delta + P_\psi + P_\epsilon, \quad (7)$$

где P_δ – потери давления по длине в нагнетательном трубопроводе, Па; P_ψ – давление газов в цилиндропоршневой полости, Па; P_ϵ – давление начала впрыска, Па.

С повышением концентрации рапсового масла в смесевом топливе увеличиваются потери давления по длине в нагнетательном трубопроводе [5]:

$$P_\delta = \lambda_m \cdot \frac{8Q^2 \rho l_{mn}}{\pi^2 d_{mn}^5}, \quad (8)$$

где λ_m – коэффициент гидравличе-

ского трения; Q – расход топлива во время движения плунжера, м³/с; ρ – плотность топлива, кг/м³; l_{mn} – длина топливопровода высокого давления, м; d_{mn} – внутренний диаметр топливопровода высокого давления, м.

Анализ формул (6 – 8) показывает, что при увеличении концентрации рапсового масла в смесевом растительно-минеральном топливе увеличивается диаметральный зазор, что ведет к увеличению количества и диаметра абразивных частиц, попадающих в зазор между плунжером и втулкой. При этом увеличивается сила, действующая на частицу, зажатую между плунжером и втулкой при обратном ходе плунжера, следовательно, должен увеличиться абразивный износ плунжерной пары.

Но анализ химического состава рапсового масла показывает, что в рапсовом масле содержится значительное количество органических поверхностно-активных веществ, в частности, олеиновых кислот [1]. Поверхностно-активные вещества способствуют образованию на поверхности трения защитной пленки, значительно снижающей нагрузки на материал детали, что в результате приводит к уменьшению износа [6].

Толщина адсорбционной пленки поверхностно-активных веществ влияет на размер зазора и увеличивает объем каждой абразивной частицы.

При увеличении концентрации рапсового масла увеличивается и толщина адсорбционной пленки поверхностно-активных веществ, которой покрывается поверхность втулки и плунжера. Этой пленкой также обволакиваются и абразивные частицы, что увеличивает их размер.

Максимальный размер абразивных частиц, м, проходящих в зазор (рис. 3)

$$d = \delta + \Delta\delta - U_{d1} - U_{d2} - U_s, \quad (9)$$

где δ – кольцевой зазор между плунжером и втулкой, м; U_{d1} – толщина абсорбционной пленки на плунжере, м; U_{d2} – толщина абсорбционной пленки на втулке, м; U_s – толщина адсорбционной пленки, покрывшей абразивную частицу, м.

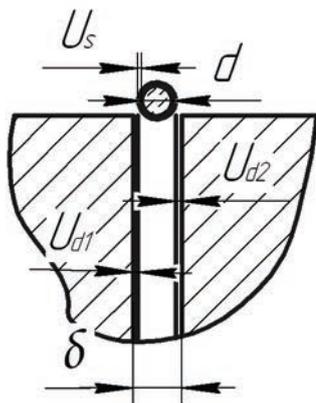


Рис. 3. Схема сопряжения плунжер-втулка

Обычно плунжер и втулку изготавливают из одинакового материала, поэтому можно считать, что $U_{d1} = U_{d2}$. Толщина адсорбционной пленки, m , поверхностно-активных веществ в топливной смеси [6]

$$U_d = \frac{\Gamma M}{\rho_a} 10^{-2}, \quad (10)$$

где Γ – максимальная адсорбция; M – молекулярный вес адсорбируемого вещества, г/моль; ρ_a – плотность адсорбируемого вещества, кг/м³.

Величину максимальной адсорбции компонента на единицу поверхности адсорбента определяют по формуле [6]:

$$\Gamma = \frac{w(C_i^0 - C_i)}{m_i S_{y.n.}}, \quad (11)$$

где w – общий объем раствора, м³; C_i^0 и C_i – соответственно концентрации исходного и равновесного растворов, кг/м³; m_i – масса адсорбента, кг; $S_{y.n.}$ – удельная поверхность адсорбента, м²/кг.

При изменении вязкости количество дизельного топлива, просачивающегося между плунжером и втулкой, изменяется, следовательно, изменяется количество абразивных частиц, попавших в зазор вместе с топливом. Количество топлива, м³/с, просочившегося в зазор, определяют по уравнению Гагена-Пуазейля [5]:

$$Q = \frac{\pi d_{em}^3 \delta (P_n - P_z)}{12 \eta p l}, \quad (12)$$

где d_{em} – диаметр втулки, м; P_n – давление в головке топливного насоса, Па; ρ – плотность топлива, кг/м³; l – длина щели в направлении утечек, м.

Количество абразивных частиц, проходящих в зазор за один ход плунжера:

$$K = \frac{\pi d_{em}^3 \delta^3 (P_n - P_z)}{12 \eta p l} \cdot k \tau \cdot 10^9, \quad (13)$$

где k – число абразивных частиц в 1 мл; τ – время активного хода плунжера, с

Число частиц можно определить турбиметрическим методом анализа загрязненности дизельного топлива водой и механическими примесями [7], размер частиц не должен превышать расчетного размера d .

Абразивный весовой износ от внедрения частиц в поверхность трения и ее перемещения

$$G = \left(2R^2 \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R}}} - \frac{\delta}{2} \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}} \right) \cdot h_{ax} K n \rho_a t. \quad (14)$$

Расчеты, выполненные по выше изложенной методике, показали (рис. 4), что суммарный массовый износ за 6000 часов работы плунжерной пары при температуре 30°C на смесевых топливах с увеличением содержания рапсового масла резко снижается до концентрации рапсового масла в топливе 50%, после чего начинает плавно возрастать до тех пор, пока концентрация рапсового масла не достигнет 70%. Далее, с увеличением содержания рапсового масла в смесевом топливе, массовый износ не изменяется. Из чего следует, что использование дизельного рапсово-минерального топлива позволяет значительно снизить износ плунжерных пар (Расчеты проводились по параметрам плунжерных пар марки 4-УТНМ 1111410-01, с кольцевым зазором 1 мкм).

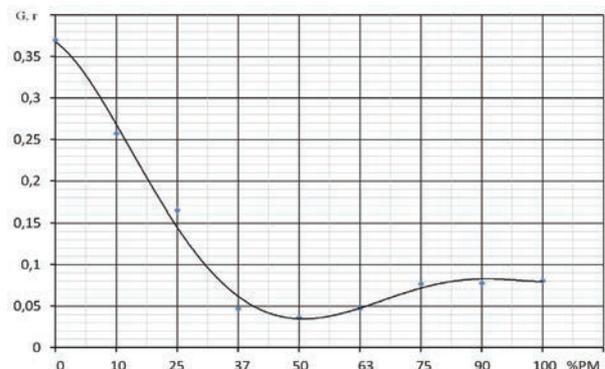


Рис. 4. Зависимость суммарного массового износа от процентного содержания в смесевом топливе рапсового масла

Представленная методика позволяет рассчитать ресурс плунжерных пар при работе на дизельном смесевом топливе в зависимости от концентрации в нем рапсового масла.

Библиографический список

1. Уханов, А. П. Рапсовое биотопливо: Монография / А. П. Уханов, В. А. Рачкин, Д. А. Уханов // Пенза: РИО ПГХСА, 2008. – 229 с.
2. Костецкий, Б.И. Износ плунжерных пар насосов / Б.И. Костецкий и др. // Механизация и электрификация социалистического хозяйства. – 1973. – №12. – С. 35 – 36.
3. Уханов, Д.А. Теоретическая оценка влияния рапсово-минерального топлива на износ плунжерных пар топливных насосов / Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов // Сб. материалов Всероссийской науч.-практ. Конф., Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – С. 9 – 10
4. Коновалов, А.В. Методика выбора сталея для их использования в условиях

скольжения по закрепленному абразиву / А.В. Коновалов, В.Ф. Пичугин, О.Ю. Елагина // РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. Нефтегазовое дело, 2004 <http://www.ogbus.ru>

5. Артемьева, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: /Т.В. Артемьева, Т.М. Лысенко, А.Н. Румянцева, С.П.Стесин ; под ред. С.П.Стесина. –М.: Издательский цент «Академия», 2006. – 336 с.

6. Абрамзон, А.А. Поверхностно-активные вещества / А.А. Абрамзон. – Л.: Химия, 1981. – 300 с.

7. 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: Межвуз. сб. науч. трудов XVI региональной научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С. 33 – 37.

УДК 631.363, УДК 621.646.7

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ КОРМОВ

Фролов Николай Владимирович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Механизация и технология животноводства»

446442, Самарская область, Кинельский район, пос. Усть-Кинельский, ул. Спортивная 13, кв. 8.

Мальцев Виталий Сергеевич, аспирант

кафедры «Механизация и технология животноводства»

443541, Самарская область, Волжский район, с. Рождествено, ул. Центральная д. 19, кв. 2.

ФГОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия»

Mail: maltsev-vitaliy@mail.ru

Ключевые слова: дозатор-смеситель, равномерность смешивания, равномерность дозирования, производительность, мощность, энергоёмкость, основная воронка, спиральные направляющие.

Представлены результаты экспериментальных исследований дозатора-смесителя, в частности, зависимости качества смешивания и производительности от конструктивно-технологических параметров устройства.