

DOI
УДК 621.43.013

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛЬЦЕВОГО ЗАЗОРА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ РЫЖИКОВОГО МАСЛА В СМЕСЕВОМ РЫЖИКО-МИНЕРАЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

Уханов Александр Петрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: ukhanov.penza@mail.ru

Ротанов Евгений Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», Технологический институт – филиал ФГБОУ ВО Ульяновского ГАУ.

433511, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. Куйбышева, 310.

E-mail: evgenij--r@yandex.ru

Хохлов Антон Алексеевич, аспирант кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования», ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ.

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1.

E-mail: khokhlov.73@mail.ru

Ключевые слова: дизель, насос, пара, зазор, топливо, кольцевой, дизельное, смесевое минеральное.

Цель исследования – теоретически обосновать изменение кольцевого зазора плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) в зависимости от содержания рыжикового масла (РьжМ) в смесевом рыжико-минеральном топливе. Долговечность плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) зависит от интенсивности износа сопряжения плунжер-штулка. Предельный износ плунжерной пары характеризуется увеличением зазора между плунжером и штулкой до критического (максимального) кольцевого зазора, при котором плунжерная пара не может обеспечить нормативную цикловую подачу топлива вследствие превышения допустимых значений утечек топлива в кольцевой зазор между плунжером и штулкой. В первую очередь это касается режима пуска двигателя и режимов, на которых он работает на малых оборотах коленчатого вала. Получены аналитические выражения, позволяющие определить утечки топлива через кольцевой зазор между плунжером и штулкой ТНВД. Рассчитан критический кольцевой зазор между плунжером и штулкой при работе на топливах с различными физическими свойствами. Применение дизельного топлива, в состав которого входит рыжиковое масло, повышающее его вязкость и плотность, приводит к увеличению критического кольцевого зазора между плунжером и штулкой по сравнению с работой ТНВД на товарном минеральном дизельном топливе (ДТ). Установлено, что при работе ТНВД на смесевом рыжико-минеральном топливе состава 50% ДТ + 50% РьжМ критический кольцевой зазор в сопряжении плунжер-штулка составляет 19,8 мкм, а изменение критического кольцевого зазора – 15 мкм, что больше, чем при работе на товарном минеральном ДТ соответственно в 1,5 раза (12,9 мкм) и 1,8 раза (8,1 мкм). Полученные результаты показывают, что при использовании смесевом рыжико-минерального топлива возможно увеличение работоспособности плунжерных пар по сравнению с работой ТНВД на товарном минеральном ДТ.

THEORETICAL EVALUATION OF ANNULAR CLEARANCE CHANGE IN PLUNGER PAIRS OF HPFP (HIGH PRESSURE FUEL PUMPS) DEPENDING ON THE AMOUNT OF CAMELINA OIL IN COMPOSITE CAMELINA-MINERAL FUEL

Ukhanov A. P., dr. of techn. sciences, prof., head of the department «Tractors, automobiles and heat and power engineering», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya, 30 str.

E-mail: ukhanov.penza@mail.ru

Rotanov E. G., cand. of techn. sciences, associate prof. of the department «Operation of transport and technological machines and complexes», Institute of Technology – branch of FSBEI HE Ulyanovsk SAU.

433511, Ulyanovsk Region, Dimitrovgrad, Kuibyshev, 310 str.

E-mail: evgenij--r@yandex.ru

Khokhlov A. A., postgraduate student of the department «Operation of transport and technological machines and complexes», FSBEI HE Ulyanovsk SAU.

432017, Ulyanivsk, Novy Venetz boulevard, 1 str.
E-mail: khokhlov.73@mail.ru

Keywords: diesel, pump, steam, gap, fuel, ring, diesel, mixed mineral.

The goal of the research is to give a theoretical evaluation of the annular clearance change in plunger pairs of the high pressure fuel oil pump (HPFP) depending on the amount of Camelina oil (Cam.oil) in composite Camelina-mineral fuel. The durability of plunger pairs of the fuel high-pressure pump (injection pump) depends on the intensity of wear of the pairing of plunger-sleeve. The maximum wear of the plunger pair is characterized by an increase in the gap between the plunger and the bushing to the critical (maximum) annular gap, in which the plunger pair can't provide a standard cyclic fuel supply due to exceeding the permissible values of fuel leaks in the annular gap between the plunger and the bushing. First of all, this applies to the engine start mode and the modes in which it operates at low speeds of the crankshaft. The acquired analytical formulae enable to define fuel leakage through the annular clearance between the plunger and the HPFP bush. We have calculated the critical annular clearance between the plunger and the bush within operating on fuels with different physical properties. Use of diesel fuel containing Camelina oil, which enhances its viscosity and density, results in growth of the critical annular clearance between the plunger and the bush compared with HPFP operating on market mineral diesel fuel (DF). It has been ascertained that when HPFP operates on composite Camelina-mineral fuel containing 50% DF+ 50% Camelina oil, the critical annular clearance within the plunger-bush mating makes 19.8 μm , and annular clearance change makes 15 μm , which is respectively 1.5 times (12.9 μm) and 1.8 times (8.1 μm) more if compared with operating on market mineral DF. The acquired results of the theoretical evaluation show that using composite Camelina-mineral fuel makes it possible to increase the working capacity of plunger pairs compared with HPFP operating on market mineral DF.

Долговечность плунжерных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) зависит от интенсивности износа сопряжения плунжер-втулка. Предельный износ плунжерной пары характеризуется увеличением зазора между плунжером и втулкой до критического (максимального) кольцевого зазора, при котором плунжерная пара не может выполнять свои функции, а именно не может обеспечить нормативную цикловую подачу топлива вследствие превышения допустимых значений утечек топлива в кольцевой зазор между плунжером и втулкой. В первую очередь это касается режима пуска двигателя и режимов, на которых он работает на малых оборотах коленчатого вала [1-3].

Цель исследования – теоретически обосновать изменение кольцевого зазора плунжерных пар топливного насоса высокого давления в зависимости от содержания рыжикового масла в смесевом рыжико-минеральном топливе.

Задачи исследования: определить влияние смесевое топлива на объем утечек через кольцевой зазор между плунжером и втулкой плунжерной пары ТНВД; рассчитать изменение критического кольцевого зазора между плунжером и втулкой в зависимости от содержания рыжикового масла в смесевом рыжико-минеральном топливе.

Материалы и методы исследований. Объемную цикловую подачу топлива (q_u) можно определить по формуле:

$$q_u \cdot 10^{-9} = V_n - V_y, \text{ мм}^3/\text{цикл}, \quad (1)$$

где V_n – объем вытесняемого топлива из надплунжерного пространства насосных секций ТНВД в такте нагнетания за рабочий цикл, $\text{м}^3/\text{цикл}$; V_y – объем утечек топлива через зазор плунжерной пары при нагнетании топлива за рабочий цикл, $\text{м}^3/\text{цикл}$.

Объем вытесняемого топлива из надплунжерного пространства насосной секции ТНВД за один цикл составляет

$$V_n = \frac{\pi \cdot d_{em}^2}{4} \cdot h_{ак}, \text{ м}^3/\text{цикл}, \quad (2)$$

где d_{em} – диаметр втулки плунжерной пары, м; $h_{ак}$ – активный ход плунжера, м.

Объем утечек топлива через зазор плунжер-втулка в такте нагнетания топлива за один цикл равен

$$V_y = \frac{\pi \cdot d_{em} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z)}{12 \cdot \nu \cdot \rho_m \cdot l_{em}} \cdot \tau_{ак}, \text{ м}^3/\text{цикл}, \quad (3)$$

где δ – кольцевой зазор между плунжером и втулкой, м; P_n – давление топлива в надплунжерном пространстве, Па; P_z – давление топлива в наполнительной полости ТНВД, Па; ν – кинематическая вязкость топлива, м²/с; ρ_m – плотность топлива, кг/м³; l_{em} – длина зазора в направлении утечек (длина втулки плунжерной пары), м; $\tau_{ак}$ – время активного хода плунжера, с.

Из анализа формулы (3) следует, что при неизменных геометрических размерах плунжерной пары (d_{em} , l_{em}) и давлениях топлива (P_n , P_z) основными параметрами, влияющими на объем утечек топлива, являются начальный кольцевой зазор (δ) и физические свойства топлива (ν , ρ_m).

При одном и том же кольцевом зазоре, но при работе ТНВД на топливах с различными физическими свойствами утечки топлива через зазор сопряжения плунжер-втулка будут различными по объему. Если учесть, что объем максимально допустимых утечек ($V_{у.кр}$) величина постоянная и не зависит от вида топлива, то при изменении физических свойств топлива будет изменяться величина критического кольцевого зазора ($\delta_{кр}$).

Преобразовав формулу (3), можно определить критический кольцевой зазор при работе ТНВД на различных видах топлива:

$$\delta_{кр} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \nu \cdot \rho_m \cdot l_{em} \cdot V_{у.кр}}{\pi \cdot d_{em} \cdot (P_n - P_z) \cdot \tau_{ак}}} \quad (4)$$

С увеличением доли рыжикового масла, добавляемого в товарное минеральное дизельное топливо, повышается вязкость и плотность смесового топлива, что ведет за собой увеличение давления в надплунжерном пространстве насосных секций ТНВД [4-6], [12].

Давление топлива в надплунжерном пространстве в такте нагнетания складывается из давлений:

$$P_n = P_\delta + P_\mu + P_e, \text{ Па}, \quad (5)$$

где P_δ – потери давления топлива по длине в нагнетательном топливопроводе высокого давления, Па; P_μ – давление газов в цилиндропоршневой полости дизеля, Па; P_e – давление начала впрыска топлива, Па.

При изменении содержания рыжикового масла в смесовом топливе изменяются потери давления по длине нагнетательного трубопровода:

$$P_\delta = \lambda_m \cdot \frac{8Q^2 \rho_m l_{mn}}{\pi^2 d_{mn}^5}, \text{ Па}, \quad (6)$$

где λ_m – коэффициент гидравлического трения; Q – расход топлива за время движения плунжера в такте нагнетания, м³/с; l_{mn} – длина нагнетательного топливопровода, м; d_{mn} – внутренний диаметр нагнетательного топливопровода, м.

Выразив расход топлива за время движения плунжера в такте нагнетания через цикловую подачу $Q = \frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}}$, и, подставив формулу (6) в (5), получим

$$P_n = \lambda_m \cdot \frac{8 \left(\frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}} \right)^2 \rho_m l_{mn}}{\pi^2 d_{mn}^5} + P_\mu + P_e, \text{ Па}, \quad (7)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения плунжера ТНВД, м/с.

Учитывая, что характер движения жидкости в нагнетательном топливопроводе носит турбулентный характер,

$$\lambda_m = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (8)$$

где Re – число Рейнольдса, определяемое по формуле

$$Re = \frac{v_T d_{mn}}{\nu}, \quad (9)$$

где u_T – скорость движения топлива в нагнетательном топливопроводе, м/с; d_{mn} – внутренний диаметр нагнетательного топливопровода, м.

Скорость движения топлива (u_T) в нагнетательном топливопроводе высокого давления определим из уравнения неразрывности потока топлива

$$u_T = \frac{v_{cp} S_n}{S_m}, \quad (10)$$

где S_n, S_m – соответственно площадь поперечного сечения втулки плунжерной пары и трубопровода высокого давления, м².

Подставив в формулу (4) формулы (5-10), получим

$$\delta_{кр} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot v \cdot \rho_m \cdot l_{эм} \cdot V_{у.кр}}{\pi \cdot d_{эм} \cdot \left(\frac{0,3164}{\left(\frac{v_{cp} S_n d_{mn}}{S_m v} \right)^{0,25}} \cdot \frac{8 \left(\frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}} \right)^2 \cdot \rho_m \cdot l_{mn}}{\pi^2 \cdot d_{mn}^5} + P_u + P_6 - P_z \right) \cdot \tau_{ак}}}. \quad (11)$$

За нормативный срок эксплуатации дизеля диаметр втулки плунжерной пары ($d_{эм}$) и активный ход плунжера ($h_{ак}$) изменяются незначительно, в то время как утечки топлива, связанные с увеличением кольцевого зазора (δ) между плунжером и втулкой на величину $\Delta\delta_u$ вследствие износа плунжерной пары, а также с учетом увеличения кольцевого зазора $\Delta\delta_p$ при повышении давления топлива в надплунжерном пространстве насосных секций ТНВД, существенно увеличиваются.

При достижении критического кольцевого зазора ($\delta_{кр}$), при котором утечки топлива превышают максимально допустимые объемы ($V_{у.кр}$), плунжерную пару выбраковывают. При этом критический кольцевой зазор в сопряжении плунжер-втулка будет равен:

$$\delta_{кр} = \delta + \Delta\delta_u + \Delta\delta_p, \quad (12)$$

где δ – начальный кольцевой зазор между плунжером и втулкой плунжерной пары, м.

Из формулы (12) определим максимальную величину увеличения зазора вследствие износа плунжера и втулки

$$\Delta\delta_u = \delta_{кр} - \Delta\delta_p - \delta, \quad (13)$$

Изменение зазора $\Delta\delta_p$ можно рассчитать методом расчета А. В. Гадолина

$$\Delta\delta_p = \frac{r_6}{E} \left[P_n \left(\frac{r_n^2 + r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} + \mu \right) - 2P_z \cdot \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_6^2} \right], \quad (14)$$

Решая совместно уравнения (14) и (7), получим следующее выражение

$$\Delta\delta_p = \frac{r_6}{E} \left[\left(\frac{0,3164}{\left(\frac{v_{cp} S_n d_{mn}}{S_m v} \right)^{0,25}} \cdot \frac{8 \left(\frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}} \right)^2 \cdot \rho_m \cdot l_{mn}}{\pi^2 \cdot d_{mn}^5} + P_u + P_6 \right) \cdot \left(\frac{r_n^2 + r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} + \mu \right) - 2P_z \cdot \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_6^2} \right], \quad (15)$$

где E – модуль упругости материала (принимается $E=2 \cdot 10^{11}$ Па), Па; r_n и r_6 – соответственно наружный и внутренний радиусы втулки и плунжера, м; μ – коэффициент Пуассона для материала втулки.

Анализ формул (7) и (15) показывает, что при повышении процентного содержания рыжикового масла в смесевом топливе увеличивается давление топлива в надплунжерном пространстве насосных секций ТНВД, а также кольцевой зазор в сопряжении плунжер-втулка, что ведет к увеличению размера абразивных частиц, попадающих между плунжером и втулкой, а также к увеличению силы давления топлива на частицу, зажатую между плунжером и втулкой при обратном ходе плунжера. В то же время, за счет того, что вязкость смесевое топлива выше минерального дизельного топлива, это приводит к снижению утечек топлива и количества абразивных частиц, попадающих с топливом в кольцевой зазор плунжерной пары. Кроме того, наличие в минеральном

дизельном топливе рыжикового масла улучшает смазывающие свойства смесового топлива. Следовательно, в совокупности вышеизложенные факторы будут способствовать снижению абразивного изнашивания плунжерной пары и повышению работоспособности ТНВД.

Учитывая, что плунжерная пара должна обеспечивать нормативную цикловую подачу топлива с учетом утечек через зазор плунжер-штулка, а при регулировке ТНВД на стенде возможно увеличивать объем вытесняемого топлива из надплунжерного пространства насосных секций (V_n) до определенной величины, то для обеспечения требуемой цикловой подачи (q_u) должно выполняться следующее условие:

$$q_u \cdot 10^{-9} \geq V_n - V_y. \quad (16)$$

При невыполнении условия (16) плунжерную пару выбраковывают.

Примем объем вытесняемого топлива из надплунжерного пространства насосных секций (V_n) и цикловую подачу топлива (q_u) постоянными величинами, тогда допустимый объем утечек топлива ($V_{y,кр}$) составит:

$$V_{y,кр} \leq V_n - q_u \cdot 10^{-9}. \quad (17)$$

Зная скорость движения плунжера, можно определить критический расход топлива через кольцевой зазор плунжерной пары:

$$Q_{кр} = \frac{V_n - q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (18)$$

Подставив в формулу (13) формулы (11, 14 и 18), получим допустимое увеличение кольцевого зазора вследствие износа деталей плунжерной пары:

$$\Delta \delta_u = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot v \cdot \rho_m \cdot l_{\text{вм}} \cdot V_{y,кр}}{\pi \cdot d_{\text{вм}} \cdot \left(\frac{0,3164}{\left(\frac{v_{cp} S_n d_{mn}}{S_m v} \right)^{0,25}} \cdot \frac{8 \left(\frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}} \right)^2 \cdot \rho_m \cdot l_{mn}}{\pi^2 \cdot d_{mn}^5} + P_u + P_6 - P_z \right) \cdot \tau_{ак}}} - \frac{r_6}{E} \left[\left(\frac{0,3164}{\left(\frac{v_{cp} S_n d_{mn}}{S_m v} \right)^{0,25}} \cdot \frac{8 \left(\frac{q_u \cdot 10^{-9}}{v_{cp}} \right)^2 \cdot \rho_m \cdot l_{mn}}{\pi^2 \cdot d_{mn}^5} + P_u + P_6 \right) \cdot \left(\frac{r_n^2 + r_6^2}{r_n^2 - r_6^2} + \mu \right) - 2P_z \cdot \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_6^2} \right] - \delta \quad (19)$$

Результаты исследований. На основании расчетов по формуле (11) построили графическую зависимость критического кольцевого зазора от процентного содержания рыжикового масла в смесовом рыжико-минеральном топливе (рис. 1).

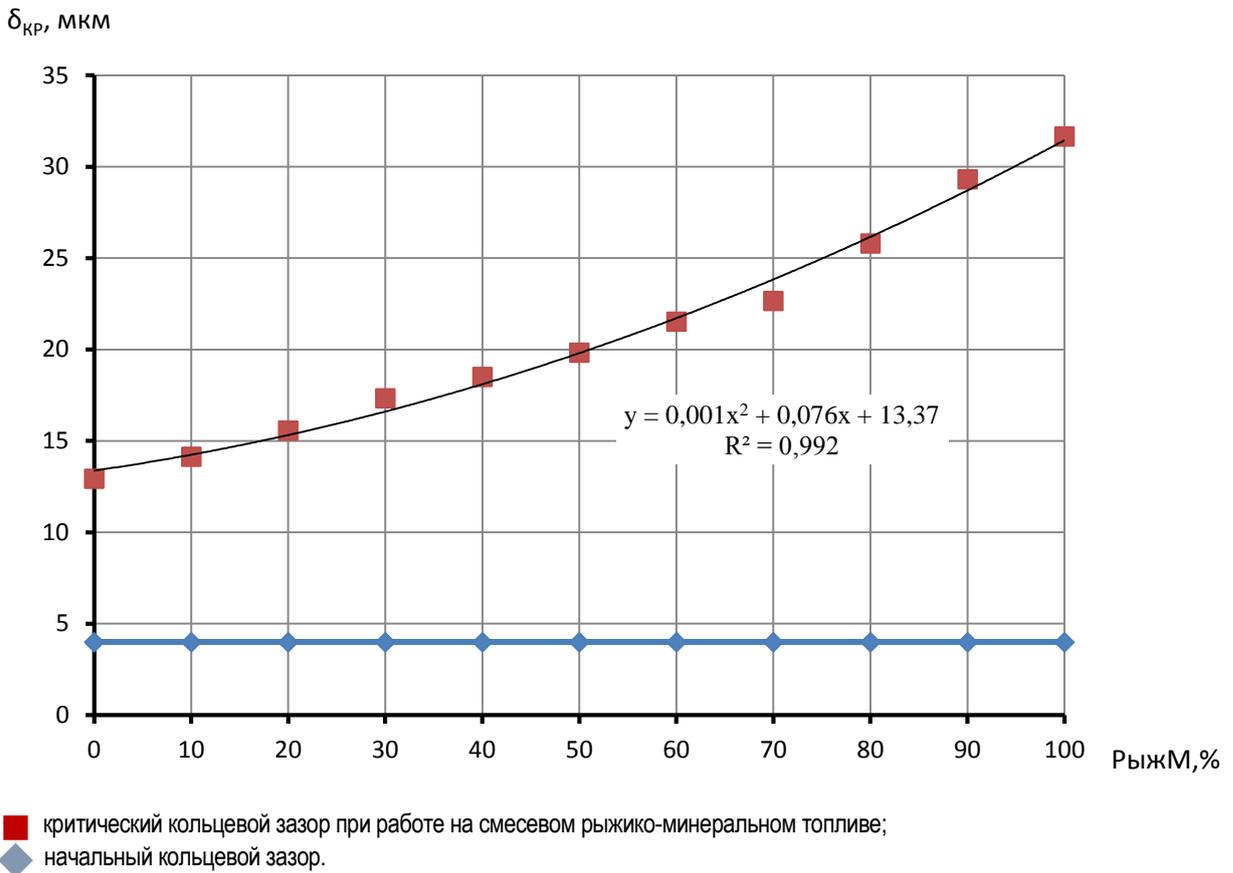


Рис. 1. Зависимость критического кольцевого зазора в сопряжении плунжер-втулка от процентного содержания рыжикового масла в смешевом рыжико-минеральном топливе

Анализируя полученную зависимость, можно сделать вывод о том, что применение дизельного топлива, в состав которого входит рыжиковое масло, повышающее его вязкость и плотность, приводит к увеличению критического кольцевого зазора между плунжером и втулкой плунжерной пары ($\delta_{кр}$), по сравнению с работой ТНВД на товарном минеральном дизельном топливе. Так, при работе ТНВД на минеральном дизельном топливе критический кольцевой зазор составляет 12,9 мкм, а на рыжиковом масле – 31,7 мкм.

На основании расчетов по формуле (19) построили графическую зависимость (рис. 2) изменения критического кольцевого зазора от процентного содержания рыжикового масла в смешевом рыжико-минеральном топливе.

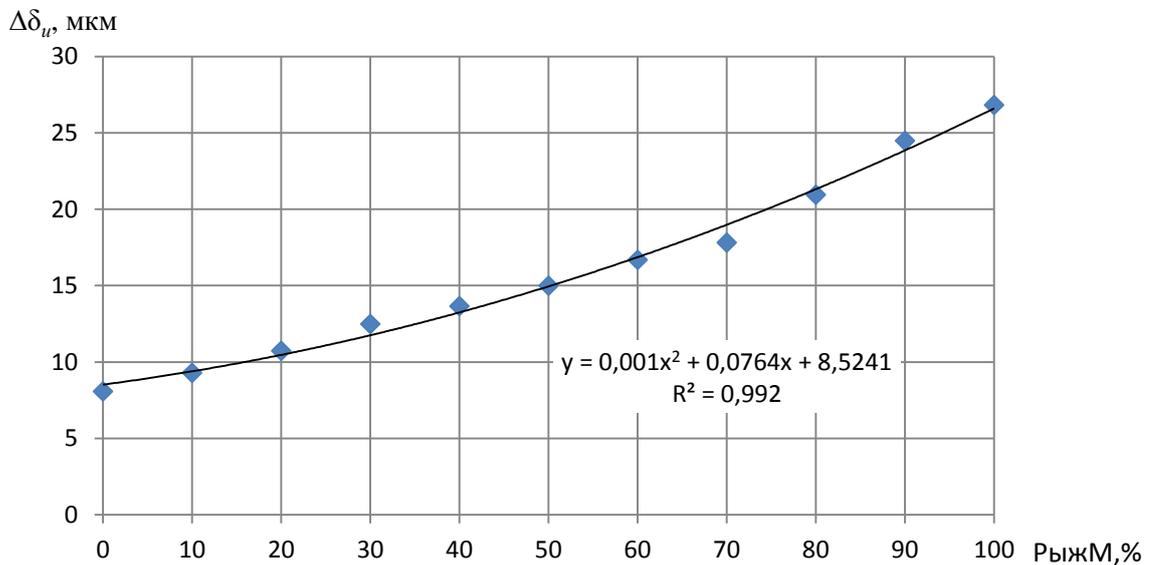


Рис. 2. Изменение критического кольцевого зазора в сопряжении плунжер-втулка от процентного содержания рыжикового масла в смесевом рыжико-минеральном топливе

Из анализа рисунка 2 следует, что при работе ТНВД на товарном минеральном дизельном топливе изменение критического кольцевого зазора между плунжером и втулкой ($\Delta\delta_{cr}$) составляет 8,1 мкм, а при работе на смесевом топливе 50%ДТ + 50%РыжМ – 15 мкм.

Для работы дизелей автотракторной техники на смесевом топливе авторами разработаны двухтопливные системы питания и смесители минерального топлива и растительного масла [7-11].

Заклучение. Теоретическими исследованиями установлено, что при работе ТНВД на смесевом рыжико-минеральном топливе и с увеличением доли рыжикового масла в товарном минеральном дизельном топливе уменьшаются утечки смесевоего топлива через кольцевой зазор между плунжером и втулкой по причине повышения вязкости и плотности. При работе ТНВД на смесевом топливе, например состава 50%ДТ + 50%РыжМ, критический кольцевой зазор в сопряжении плунжер-втулка составляет 19,8 мкм, а изменение критического кольцевого зазора – 15 мкм, что больше, чем при работе на товарном минеральном дизельном топливе соответственно в 1,5 раза (12,9 мкм) и в 1,8 раза (8,1 мкм). Полученные результаты теоретических расчетов показывают, что использование смесевоего рыжико-минерального топлива способствует повышению работоспособности плунжерных пар ТНВД по сравнению с работой на товарном минеральном дизельном топливе.

Библиографический список

1. Уханов, Д. А. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением смесевоего рапсово-минерального топлива : монография / Д. А. Уханов, А. П. Уханов, Е. Г. Ротанов, А. С. Аверьянов. – Пенза : РИО ПГАУ, 2017. – 185 с.
2. Влияние дизельного смесевоего 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.
3. 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.
4. 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.
5. Уханов, А. П. Физические свойства рыжиково-минерального топлива / А. П. Уханов, А. А. Хохлов, А. Л. Хохлов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 5-3 (59). – С. 124-128.
6. Сидоров, Е. А. Оценка жирнокислотного состава растительных масел и дизельных смесевых топлив на основе рыжика, сурепицы и льна масличного / Е. А. Сидоров, А. П. Уханов, О. Н. Зеленина // Известия Самарской ГСХА. – 2013. – № 3. – С. 49-54.
7. Уханов, А. П. Адаптация тракторного дизеля к работе на смесевом топливе / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Е. А. Хохлова // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 10. – С. 14-16.
8. Устройства для конструктивной адаптации дизелей автотракторной техники к работе на биоминеральном топливе / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Е. А. Хохлова, А. А. Хохлов // Известия Самарской ГСХА. – 2016. – Вып.2. – С. 34-39.
9. Уханов, А. П. Дизельное смесевое топливо: проблемы и инновационные разработки / Д. А. Уханов, И. Ф. Адгамов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Т. 1, № 2. – С. 46-51.
10. Пат. 2484291 Российская Федерация, МПК F 02 M 43/00. Двухтопливная система питания дизеля / Уханов А. П., Уханов Д. А., Година Е. Д., Хохлова Е. А. – № 2012117807/06 ; заявл. 27.04.2012 ; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.
11. Пат. 2503491 Российская Федерация, МПК B 01 F 5/06. Смеситель минерального топлива и растительного масла с активным приводом / Уханов А. П., Уханов Д. А., Сидоров Е. А., Хохлова Е. А. – № 2012128420/05 ; заявл. 05.07.2012 ; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.
12. Markov, V. A. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V. A. Markov, S. S. Loboda, V. G. Kamaltdinov // Procedia Engineering. – Chelyabinsk : LLC Elzevir, 2016. – P. 225-234. – (Series «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016»).

1. Ukhanov, D. A. HPFP Plunger Pairs Wear Reduction by Applying Composite Rapeseed-Mineral Fuel : monograph / D. A. Ukhanov, A. P. Ukhanov, E. G. Rotanov, A. S. Averyanov. – Penza : PC Penza SAU, 2017. – 185 p.
2. Ukhanov, A. P. Influence of Diesel Composite Fuel on HPFP Plunger Pairs Wear Reduction / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. G. Rotanov, A. S. Averyanov // Bulletin Samara State Agricultural Academy. – 2011. – №3. – P. 105-108.
3. Ukhanov, A. P. Wear Reduction of HPFP Plunger Pairs as a Result of Using Rational Diesel Fuel Composition / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. G. Rotanov // Technology of Wheel and Track Machines. – 2015. – №2 (18). – P. 46-51.
4. Boldashev, G. I. Use of Alternative Fuel and Lubricating Materials in Autotractor Equipment : monograph / G. I. Boldashev, A. P. Bychenin, O. S. Volod'ko. – Kinel : PC Samara SAA, 2017. – 169 p.
5. Ukhanov, A. P. Physical Properties of Camelina-Mineral Fuel / A. P. Ukhanov, A. A. Khokhlov, A. L. Hohlov, V. A. Golubev, E. A. Hohlova // International Research Journal. – 2017. – № 5-3 (59). – P. 124-128.
6. Sidorov, E. A. Evaluation of Fatty-Acid Composition of Vegetable Oils and Diesel Composite Fuels Based on Camelina, Winter Cress, Seed Flax / E. A. Sidorov, A. P. Ukhanov, O. N. Zelenina // Bulletin Samara State Agricultural Academy. – 2013. – № 3. – P. 49-54.
7. Ukhanov, A. P. Adaptation of Tractor Diesel for Operating on Composite Fuel / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. A. Hohlova // Tractors and Agricultural Machines. – 2013. – № 10. – P. 14-16.
8. Machinery for Structural Adaptation of Autotractor Equipment Diesels for Operating on Biomineral Fuel / A. P. Ukhanov, D. A. Ukhanov, E. A. Hohlova, A. A. Hohlov // Bulletin Samara State Agricultural Academy. – 2016. – Iss. 2. – P. 34-39.
9. Ukhanov, A. P. Diesel Composite Fuel: Problems and Innovational Developments / D. A. Ukhanov, I. F. Agdamov // Bulletin Samara State Agricultural Academy. – 2016. – Vol. 1, № 2. – P. 46-51.
10. Pat. 2484291 Russian Federation, MPK F 02 M 43/00. Double-Fuel System of Diesel Power / Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Godina E. D., Hohlova E. A. – № 2012117807/06 ; appl. 27.04.2012 ; issued. 10.06.2013, Bull. № 16.
11. Pat. 2503491 Russian Federation, MPK B 01 F 5/06. Mixer of Mineral Fuel and Vegetable Oil with Active Drive / Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Sidorov E. A., Hohlova E. A. – № 2012128420/05 ; appl. 05.07.2012 ; issued. 10.01.2014, Bull. № 1.
12. Markov, V. A. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V. A. Markov, S. S. Loboda, V. G. Kamaltdinov // Procedia Engineering. – Chelyabinsk : LLC Elzevir, 2016. – P. 225-234. – (Series «2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016»).