

На правах рукописи



Ротанов Евгений Геннадьевич

**СНИЖЕНИЕ ИЗНОСА ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТНВД
ПРИМЕНЕНИЕМ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА
ДИЗЕЛЬНОГО СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА**

Специальность 05.20.03 – технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия» (ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА»)

Научный руководитель доктор технических наук, доцент
Уханов Денис Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Власов Павел Андреевич

кандидат технических наук
Рыблов Михаил Владимирович

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Самарская ГСХА»

Защита состоится «15» марта 2012 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 220.053.02 при ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» по адресу: 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, ауд. 1246.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА».

Автореферат разослан «13» февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кухарев О.Н.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Надежная работа дизеля во многом зависит от степени износа деталей топливного насоса высокого давления (ТНВД) и, в первую очередь, плунжерных пар.

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

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

В связи с этим исследования, направленные на снижение износа плунжерных пар ТНВД путем применения в качестве моторного топлива ДСТ, являются актуальными и практически значимыми для аграрного производства и экономики страны.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА», тема «Разработка средств механизации и технического обслуживания энерго- и ресурсосберегающих технологий в различных процессах производства и переработки продукции сельского хозяйства» (номер государственной регистрации № 01.200.600147).

Цель исследований – снижение износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного смесевое топлива.

Объект исследований – процесс изнашивания плунжерных пар рядного ТНВД дизеля сельскохозяйственного трактора тягового класса 14 кН при использовании в качестве моторного топлива смесевое рапсово-минерального топлива.

Предмет исследований – показатели изнашивания (массовый износ деталей плунжерных пар, зазор в сопряжении «плунжер - втулка», овальность и конусность плунжера, шероховатость поверхностей плунжера и втулки) плунжерных пар ТНВД и параметры топливоподачи (цикловая подача топлива, давление топлива на выходе из штуцера насосных секций ТНВД, скорость нарастания давления топлива) насоса 4УТНМ при работе на ДСТ, состоящим из смеси РМ и минерального ДТ в соотношении 25%РМ+75%ДТ; 50%РМ+50%ДТ; 75%РМ+25%ДТ; 90%РМ+10%ДТ (25:75, 50:50, 75:25, 90:10).

Научную новизну работы представляют:

- расчетно-теоретическая оценка износа плунжерных пар ТНВД в зависимости от объёмного содержания рапсового масла в дизельном смесевом топливе;
- показатели изнашивания плунжерных пар ТНВД при работе на дизельном смесевом топливе различного состава;
- рациональный состав дизельного смесевое топлива по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД и параметры топливоподачи;
- конструкция рядного ТНВД для сравнительных ускоренных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ.

Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель № 97773 «Рядный топливный насос высокого давления для сравнительных испытаний плунжерных пар». Подана и зарегистрирована в ФИПС заявка на изобретение № 2010150439 от 08.12.2010г. «Топливный насос высокого давления для сравнительных испытаний плунжерных пар на двух видах моторного топлива».

Практическая значимость работы. Использование рапсового масла в качестве биологического компонента к минеральному ДТ улучшает смазывающие свойства ДСТ и снижает износ плунжерных пар ТНВД. Наилучшим составом ДСТ по показателям изнашивания и параметрам топливоподачи является рапсово-минеральное топливо в соотношении 50:50. При работе ТНВД на ДСТ 50:50 износ плунжерных пар снижается на 65% по сравнению с работой на минеральном ДТ. Использование модернизированного ТНВД позволяет уменьшить продолжительность испытаний плунжерных пар на износ и повысить достоверность результатов экспериментальных исследований.

Достоверность результатов исследований подтверждается сравнительными безмоторными испытаниями плунжерных пар ТНВД по показателям изнашивания и параметрам топливоподачи в идентичных условиях скоростных и температурных режимов, причем на одном ТНВД, две насосные секции которого работали на минеральном ДТ и две – на смесевом рапсово-минеральном топливе, а также эксплуатационными исследованиями плунжерных пар ТНВД на износ при работе тракторов на ДСТ и ДТ; использованием современной контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры; сходимостью результатов расчетных показателей изнашивания плунжерных пар ТНВД с результатами экспериментальных исследований.

Реализация результатов исследований. Использование рационального состава ДСТ 50:50 обеспечивает наименьший износ плунжерных пар ТНВД и наилучшие параметры топливоподачи по сравнению с минеральным ДТ. Результаты исследований приняты к внедрению в ООО «Приморье» Ульяновской области.

Апробация работы. Основные положения диссертации и ее результаты доложены и одобрены на Всероссийских научно-технических конференциях ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА» (2010, 2011г.г.), Технологический институт – филиал ФГОУ ВПО «Ульяновская ГСХА» (г. Димитровград, 2008, 2009г.г.), ФГБОУ ВПО «Вятская ГСХА» (2011г.).

Публикации результатов исследований. По результатам исследований опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, указанных в «Перечне...ВАК», получен патент на полезную модель, без соавторов опубликованы 2 статьи. Общий объем публикаций оставляет 2,7 п.л., из них 1,5 п.л. принадлежит автору.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 141 наименований и приложения на 38 с. Работа изложена на 159 с., содержит 78 рис. и 22 табл.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- методика расчета износа плунжерных пар ТНВД в зависимости от объемного содержания рапсового масла в дизельном смесевом топливе;
- теоретическая и экспериментальная оценка показателей изнашивания плунжерных пар ТНВД и параметров топливоподачи в зависимости от содержания рапсового масла в дизельном смесевом топливе;
- рациональное соотношение рапсового масла и минерального топлива в дизельном смесевом топливе, рекомендуемое для использования в качестве моторного топлива на тракторах с.-х. назначения по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД и параметрам топливоподачи.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы, изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первом разделе «Состояние вопроса и задачи исследований» приводится анализ использования различных видов моторного топлива из биомассы и факторов, влияющих на эксплуатационную надежность дизельной топливной аппаратуры, выполнен анализ противоизносных свойств минеральных дизельных топлив.

Установлено, что содержащиеся в рапсовом масле в значительных количествах пальмитиновая, стеариновая, олеиновая и другие органические кислоты являются поверхностно-активными веществами, способными вступать в реакцию с адгезионными связями молекул и атомов, расположенных в поверхностных слоях материалов деталей машин с последующим образованием защитной демпферной пленки. Данное качество является весьма ценным с точки зрения обеспечения рационального режима смазывания прецизионных пар ТНВД. Поэтому, если использовать рапсовое масло в качестве биологического компонента ДСТ, то можно значительно увеличить смазывающие свойства топлива и уменьшить износ плунжерных пар ТНВД.

Вопросам надежности дизельной топливной аппаратуры посвящены труды Бахтиярова Н.И., Баширова Р.М., Большакова Г.Ф., Власова П.А., Дидура В.А., Жулдыбина Е.Н., Загородских Б.П., Коваленко В.П., Кривенко П.М., Лебедева В.В., Ломоносова Д.А., Пучина Е.А., Рыбакова К.В., Турчанинова В.Е., Удлера Э.И., Уханова А.П., Федосова И.М. и других исследователей.

С учетом вышесказанного и в соответствии с поставленной целью исследований в работе решались следующие **задачи**:

1. Изучить закономерности изнашивания плунжерных пар ТНВД при работе на ДСТ с различным объемным содержанием рапсового масла.

2. Математически описать процесс изнашивания плунжерных пар ТНВД при работе на дизельном смесевом рапсово-минеральном топливе.

3. Экспериментально оценить влияние состава дизельного смесевого рапсово-минерального топлива на износ плунжерных пар и параметры топливоподачи по результатам сравнительных ускоренных испытаний ТНВД на безмоторном стенде и эксплуатационных исследований тракторов в производственных условиях.

4. Проанализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований и разработать рекомендации по рациональному составу смесевого рапсово-минерального топлива; оценить технико-экономическую эффективность от использования ДСТ в системе питания тракторов.

Во втором разделе «Теоретические исследования по оценке влияния смесевого рапсово-минерального топлива на износ плунжерных пар ТНВД» математически описан процесс массового изнашивания плунжерных пар в зависимости от концентрации рапсового масла в дизельном смесевом топливе.

Результатом абразивного изнашивания является массовый абразивный износ

$$G = m \cdot K \cdot n \cdot t \cdot 10^3, \text{ г}, \quad (1)$$

где m – масса удаленного материала с поверхности трения одной абразивной частицей, кг; K – число абразивных частиц, попадающих в зазор за один ход плунжера; n – количество ходов плунжера в час, ч^{-1} ; t – время работы плунжерной пары, ч.

В свою очередь масса удаленного материала

$$m = V \cdot \rho_m, \text{ кг}, \quad (2)$$

где V – объем удаленного материала с поверхности трения одной абразивной частицей, м^3 ; ρ_m – плотность материала плунжерной пары, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Считается, что абразивная частица имеет форму эллипсоида. Предположим втулка и плунжер движутся относительно абразивной частицы. Абразивная частица внедряется одновременно в плунжер и втулку плунжерной пары, закрепляется на одной из поверхностей (в основном на втулке) в положении, при котором наибольшая ось эллипсоида параллельна движению плунжера, и прорезает канавку на другой поверхности трения (рисунок 1).

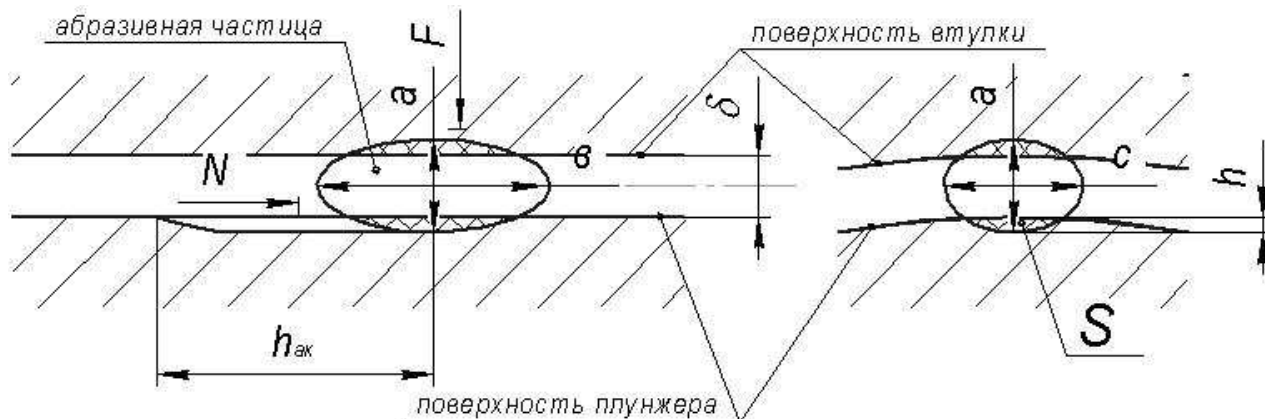


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения объема удаленного материала при образовании царапины на поверхности трения: h – глубина внедрения абразивной частицы; $h_{ак}$ – путь частицы (активный ход плунжера); F – сила, действующая на абразивную частицу при сжатии втулки плунжера; N – сила, действующая на абразивную частицу при движении плунжера; δ – зазор между плунжером и втулкой; h – глубина внедрения абразивной частицы; S – площадь сегмента эллипса; a, b, c – оси эллипсоида

Объем удаленного материала при образовании царапины на поверхности трения

$$V = S \cdot h_{ак}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

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

Так как абразивная частица имеет очень малые размеры, то можно допустить, что коэффициент сжатия сечения эллипсоида по плоскости $ac=1$, т.е. $a=c$, тогда $a/2$ есть радиус окружности R . Следовательно, площадь сегмента эллипса внедренного участка частицы будет равна

$$S = 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + 2\sqrt{1 - \frac{2R \cdot h - h^2}{R^2}}} - (R - h) \cdot \sqrt{2R \cdot h - h^2}}, \text{ м}^2, \quad (4)$$

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

Предварительные расчеты глубины внедрения частицы показали, что абразивная частица размером до 10 $\mu\text{м}$ при силе давления, действующей 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 абразивной частицы зависит только от зазора и радиуса частицы, попавшей в зазор «плунжер - втулка»

$$h = R - \frac{\delta}{2}, \text{ м}, \quad (5)$$

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

Подставив в формулу (4) вместо h выражение (5) получим:

$$S = 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R}}} - \frac{\delta}{2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}}, \text{ м}^2. \quad (6)$$

Тогда объем $V = 2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R}}} - \frac{\delta}{2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}} \cdot h_{ак}, \text{ м}^3. \quad (7)$

Диаметр (d) абразивной частицы, попавшей в зазор, зависит от величины зазора (δ) между плунжером и втулкой, из чего следует, что $d = \delta$.

При увеличении вязкости топлива давление в надплунжерной части повышается, следовательно, при деформации втулки плунжера увеличивается и диаметральный зазор пары (δ) на величину ($\Delta\delta$). При этом одновременно с частицами диаметром $d < \delta$ и $d = \delta$ в зазор попадают абразивные частицы диаметром $d = \delta + \Delta\delta$. Увеличение зазора ($\Delta\delta$) рассчитывают по методу расчета толстостенных цилиндров, предложенного академиком А.В. Гадолиным:

$$\Delta\delta = \frac{r_г}{E} \cdot \left[P_n \cdot \left(\frac{r_n^2 + r_г^2}{r_n^2 - r_г^2} + \mu \right) - 2P_n \cdot \frac{r_n^2}{r_n^2 - r_г^2} \right], \text{ м}, \quad (8)$$

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

Давление в надплунжерной полости насосной секции

$$P_n = P_\partial + P_\gamma + P_г, \text{ Па}, \quad (9)$$

где P_∂ – потери давления по длине нагнетательного трубопровода, Па; P_γ – давление газов в цилиндропоршневой полости, Па; $P_г$ – давление начала впрыска топлива, Па.

С повышением концентрации рапсового масла в смесевом топливе увеличиваются потери давления по длине нагнетательного трубопровода на величину

$$P_\partial = \lambda_m \cdot \frac{8Q^2 \cdot \rho \cdot l_{mn}}{\pi^2 \cdot d_{mn}^5}, \text{ Па}, \quad (10)$$

где λ_m – коэффициент гидравлического трения; Q – расход топлива в такте нагнетания, м³/с; ρ – плотность топлива, кг/м³; l_{mn} и d_{mn} – длина и внутренний диаметр нагнетательного топливопровода, м.

Анализ содержания кислот в рапсовом масле показывает, что в нем содержится значительное количество органических поверхностно-активных веществ в виде высших жирных кислот.

Поверхностно-активные вещества способствуют образованию на поверхности трения защитной пленки. При увеличении концентрации рапсового масла увеличивается и толщина адсорбционной пленки поверхностно-активных веществ, которыми покрывается поверхность втулки и плунжера, также этой пленкой обволакиваются и абразивные частицы, что увеличивает их размер (см. рисунок 2).

Максимальный размер абразивных частиц, проходящих в зазор «плунжер-втулка»

$$d = \delta + \Delta\delta - U_{d_1} - U_{d_2} - U_s, \text{ м}, \quad (11)$$

где δ – диаметральный зазор между плунжером и втулкой, м; U_{d_1} – толщина адсорбционной пленки на плунжере, м; U_{d_2} – толщина адсорбционной пленки на втулке, м; U_s – толщина адсорбционной пленки, покрывшей абразивную частицу, м.

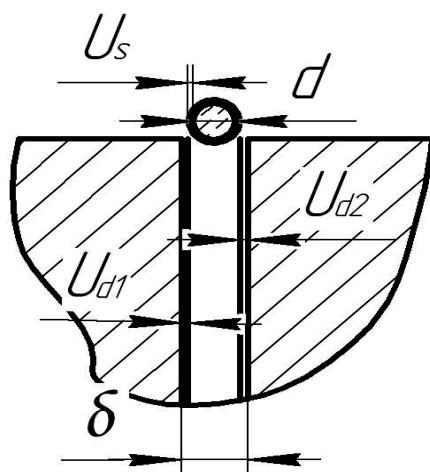


Рисунок 2 – Схема сопряжения «плунжер - втулка» ТНВД

Толщина адсорбционной пленки определяем по выражению

$$U_d = \frac{w \cdot (C_i^0 - C_i) \cdot M}{0,98 \cdot S \cdot \rho_m}, \text{ м}, \quad (12)$$

где w – общий объем ДСТ в плунжерной паре за один рабочий цикл, м^3 ; C_i^0 и C_i – соответственно концентрации исходного и равновесного растворов поверхностно активных веществ в ДСТ, $\text{кг}/\text{м}^3$; M – молекулярный вес материала плунжерной пары, $\text{г}/\text{моль}$; S – суммарная площадь поверхностей плунжерной пары, контактирующей с ДСТ, м^2 .

При изменении вязкости количество ДСТ, просачивающегося между плунжером и втулкой, изменяется. Следовательно, изменяется и количество абразивных частиц, попавших в зазор вместе с топливом. Количество топлива, просочившегося в зазор, определяют по уравнению Гагена-Пуазейля

$$Q = \frac{\pi \cdot d_{вт} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_h)}{12 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (13)$$

где $d_{вт}$ – внутренний диаметр втулки, м ; ν – кинематическая вязкость топлива, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ – плотность ДСТ, $\text{кг}/\text{м}^3$; l – длина зазора в направлении утечек, м .

Количество абразивных частиц, проходящих в зазор за один ход плунжера

$$K = \frac{\pi \cdot d_{вт} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_e)}{12 \cdot \nu \cdot \rho \cdot l} \cdot k \cdot \tau \cdot 10^9, \quad (14)$$

где k – количество абразивных частиц в 1 м^3 ; τ – время активного хода плунжера, с .

Время активного хода плунжера

$$\tau = \omega_{cp} / h_{ак}, \quad (15)$$

где ω_{cp} – средняя скорость плунжера, $\text{м}/\text{с}$.

Число частиц можно определить турбиметрическим методом. При этом размер частиц не должен превышать расчетного размера (d).

Число ходов (рабочих циклов) в час плунжера зависит от частоты вращения к.в. двигателя. Так как автотракторная техника основное время работает на номинальных оборотах, то зная часовой расход топлива можно определить число ходов одного плунжера

$$n = \frac{4 \cdot G_{ч}}{\pi \cdot d_{вт}^2 \cdot h_{ак} \cdot \rho_m \cdot b}. \quad (16)$$

Подставив в формулу (1) выражения (7), (14), (15) и (16) получим формулу для расчета массового износа по результатам абразивного изнашивания за время работы плунжерной пары ТНВД:

$$G = \left(2R^2 \cdot \sqrt{2 - \sqrt{2 + \frac{\delta}{R}}} - \frac{\delta}{2} \cdot \sqrt{R^2 - \frac{\delta^2}{4}} \right) \cdot \frac{G_{\text{ч}} \cdot \delta^3 \cdot (P_n - P_z) \cdot \omega_{\text{ср}}}{3 \cdot d_{\text{см}} \cdot \nu \cdot \rho_m^2 \cdot l \cdot b \cdot h_{\text{ак}}} \cdot k \cdot \rho_m \cdot t \cdot 10^3, \text{ г.} \quad (17)$$

Анализ формулы (17) показывает что величина массового износа зависит от радиуса (который в свою очередь зависит от изменения зазора в сопряжении «плунжер - втулка» в результате деформации при нагнетании топлива, а также от толщины абсорбционных пленок на поверхностях трения) абразивных частиц, попавших в зазор «плунжер - втулка», зазора в сопряжении «плунжер - втулка», часового расхода топлива, количества абразивных частиц, вязкости и плотности топлива, средней скорости плунжера, активного хода и времени работы ТНВД, то есть массовый износ есть функция многих параметров:

$$G = f(R, G_{\text{ч}}, \delta, P, \omega_{\text{ср}}, h_{\text{ак}}, d_{\text{см}}, \nu, \rho_m, k, t). \quad (18)$$

Таким образом, описанная теория позволяет рассчитать массовый износ плунжерных пар ТНВД при работе на ДСТ в зависимости от концентрации в нем рапсового масла.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» описаны общая программа и частные методики исследований ТНВД, методика сравнительных безмоторных ускоренных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ, методика эксплуатационных исследований тракторов при работе на смесевом рапсово-минеральном и минеральном топливах по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД.

Программа исследований включала: **контрольные испытания** агрегатов дизельной топливной аппаратуры на соответствие параметров их технического состояния требованиям соответствующих гостстандартов и технических условий; **лабораторные исследования** физических свойств ДСТ различного состава в зависимости от температуры; **стендовые исследования** ТНВД по влиянию ДСТ на параметры топливоподачи; **сравнительные исследования** влияния минерального ДТ и ДСТ различного состава на износ плунжерных пар ТНВД; **сравнительные экспериментальные исследования** тракторов при работе на минеральном топливе и смесевом рапсово-минеральном топливе по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД.

Контрольные испытания агрегатов дизельной топливной аппаратуры включали проверку и регулировку топливного насоса 4УТНМ с комплектами рабочих форсунок ФД-22 и нагнетательных топливопроводов на безмоторном стенде КИ-921М. Для определения эффективного проходного сечения топливопроводов и форсунок был разработан и изготовлен стенд переменного давления.

Методика ускоренных испытаний топливного насоса высокого давления на износ плунжерных пар. Исследования проводились в лабораторных условиях на модернизированном стенде для регулировки топливной аппаратуры КИ-921М (рисунок 3), в систему топливоподачи которого установлены два бака с терморегуляторами (термостат ТЖ-ТС-01НМ). Датчики начала впрыска топлива стенда подключены через аналого-цифровой преобразователь LA 1,5 PIC к ПЭВМ. Для синхронизации записи измерений установлен датчик положения кулачкового вала ТНВД.

Для создания идентичных (одинаковых) условий испытаний плунжерных пар ТНВД при работе на двух видах моторного топлива изготовлен опытный образец ТНВД для сравнительных испытаний плунжерных пар на износ (рисунок 4). Для этого П-образный канал ТНВД разделен перегородками на первый и второй П-образные каналы, одинаковые по длине и поперечному сечению, каждый из каналов обеспечивает наполняемость надплунжерного объема своих насосных секций определенным видом топлива за счет дополнительно установленного топливоподкачивающего насоса, выход ко-

торого соединен топливопроводом низкого давления с входом второго П-образного канала; на выходе второго П-образного канала установлен дополнительный перепускной клапан. На входе в каждый П-образный каналы были установлены хромель-копелевые термодатчики и через переходники подсоединены манометры. На выходах из насосных секций ТНВД установлены датчики давления топлива (KV2BDE BOSCH).



Рисунок 3 – Общий вид экспериментальной установки для ускоренных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ: 1 – стенд КИ-921М; 2 – бак для ДСТ (термостат ТЖ-ТС-01НМ); 3 – манометры; 4 – модернизированный насос для сравнительных испытаний плунжерных пар; 5 – бак для ДТ (термостат ТЖ-ТС-01НМ); 6 – компьютер с АЦП LA-1,5 PCI; 7 – мультиметры

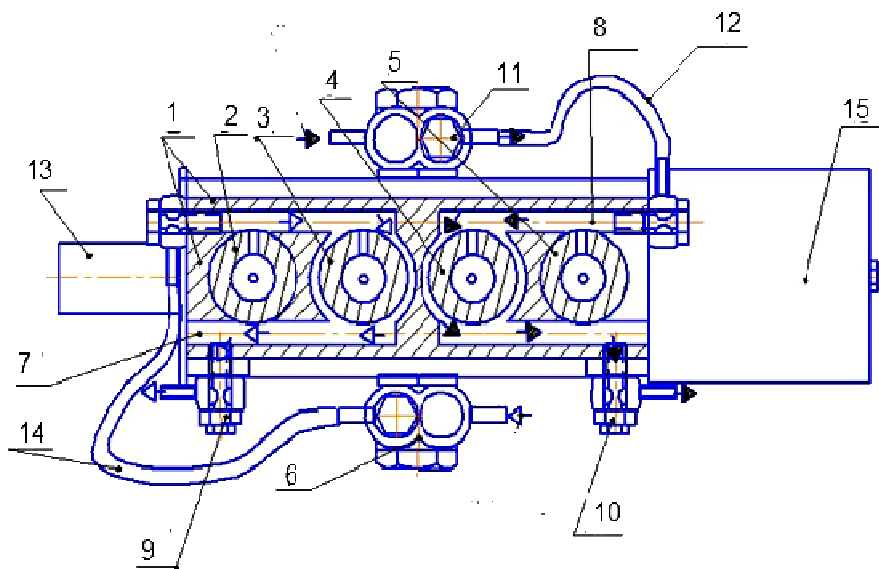


Рисунок 4 – Топливный насос для сравнительных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ: 1 – корпус; 2, 3 – секции высокого давления первого П-образного канала; 4, 5 – секции высокого давления второго П-образного канала; 6 – топливный насос низкого давления первого П-образного канала; 7 – первый П-образный канал; 8 – второй П-образный канал; 9, 10 – перепускные клапаны первого и второго П-образного канала соответственно; 11 – топливный насос низкого давления второго П-образного канала; 12, 14 – топливопроводы низкого давления; 13 – кулачковый вал; 15 – регулятор ЧВ

В первый П-образный канал ТНВД подавали минеральное ДТ, во второй П-образный канал – смесевое рапсово-минеральное топливо. Для сокращения продолжительности испытаний в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 23.1.364-81 в испытуемые топлива внесли абразив (удельная поверхность $10\ 500\ \text{см}^2/\text{г}$, размер частиц 3...6 мкм) в количестве 15 г на 1 тонну топлива, что соответствует $12,5\ \text{г}/\text{м}^3$.

Плунжерные пары марки У16с15 (4УТНМ 1111410-01) для каждого комплекта ТНВД подобраны из одной партии производства Алтайского завода топливной аппаратуры. Подбор осуществлялся по гидравлической плотности. Определение гидравлической плотности плунжерной пары проводилось на приборе КИ-975 согласно стандартной методике. В качестве рабочей жидкости использовалась смесь дизельного топлива с индустриальным маслом вязкостью 9 сСт ($\text{мм}^2/\text{с}$). Среднее время падения давления топлива на приборе КИ-975 для каждой плунжерной пары комплекта составляло $26 \pm 1\ \text{с}$.

Топливный насос высокого давления отрегулирован для дизеля Д-243 (4Ч 11/12,5) на номинальную объемную цикловую подачу топлива $72,5 \pm 0,5\ \text{см}^3$ за 1000 циклов при частоте вращения кулачкового вала ТНВД $1100\ \text{мин}^{-1}$. Испытания ТНВД проводили при частоте вращения $1100\ \text{мин}^{-1}$ в течении 50 часов (до предельно допустимого износа плунжерных пар), при жестко закрепленной рейке в положении полной подачи топлива для устранения влияния центробежного регулятора частоты вращения на процесс топливоподачи.

В процессе испытаний через каждые 10 ч с контрольным комплектом нагнетательных клапанов, форсунок и нагнетательных трубопроводов снимались скоростные характеристики ТНВД, а также снимались осциллограммы давления топлива на выходе из насосных секций ТНВД. Динамику износа плунжерных пар в попарных насосных секциях косвенно определяли по изменению объемной цикловой подачи топлива и скорости нарастания давления топлива на выходе из насосных секций ТНВД (по осциллограммам давления топлива) на пусковой частоте вращения кулачкового вала ТНВД ($n=110\ \text{мин}^{-1}$).

В качестве *оценочных показателей изнашивания* служили: геометрические размеры (диаметры, овальность и конусность плунжера, зазор между плунжером и втулкой); шероховатость в местах, подверженных наибольшему износу, путем снятия и обработки профилограм; масса плунжерных пар (в сборе и отдельно по деталям); объемная цикловая подача топлива (в условиях скоростной характеристики); максимальное давление топлива и скорость нарастания давления топлива на выходе из штуцеров секций высокого давления ТНВД (по осциллограммам давления топлива).

Все параметры снимались в начале и в конце ускоренных испытаний плунжерных пар на износ. Кроме того, параметры топливоподачи снимались через каждые 10 ч ускоренных испытаний.

Скоростные характеристики ТНВД снимались по стандартной методике. Одновременно снимались осциллограммы давления топлива с помощью измерительного комплекса. На каждой частоте вращения кулачкового вала испытания повторяли 4 раза: два – проводили при установленных датчиках давления на первый и четвертый штуцеры секций ТНВД, два – при установленных датчиках давления на второй и третий штуцеры секций ТНВД.

Методика эксплуатационных исследований на износ тракторов при работе на смесевом рапсово-минеральном и минеральном топливах по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД. Эксплуатационные исследования проводились в производственных условиях ООО «Приморье» Ульяновской области при работе тракторов МТЗ-80 на двух видах топлива: один трактор являлся контрольным, работал на минеральном дизельном топливе (100% ДТ), другой экспериментальный – на

дизельном смесевом топливе (50% РМ+50% ДТ). Под наблюдение взяты тракторы одного года выпуска, с примерно одинаковой наработкой и выполняющие аналогичные производственные работы.

За оценочные показатели изнашивания плунжерных пар ТНВД были приняты: геометрические размеры плунжерных пар (овальность и конусность плунжера, диаметры плунжера и втулки, зазор между плунжером и втулкой); масса плунжерных пар (в сборе и раздельно); объемная цикловая подача на основных скоростных режимах (пусковой и номинальной частоте вращения к.в., частоте вращения, соответствующей режиму максимального крутящего момента дизеля).

Для ТНВД были подобраны новые плунжерные пары одного завода-изготовителя. Перед установкой плунжерных пар на ТНВД были выполнены предварительные испытания их на гидроплотность, произведены геометрические замеры внутренних диаметров втулок и наружных диаметров плунжерных пар, а также взвешивание плунжерных пар (по отдельности и в сборе).

После установки контрольных плунжерных пар каждый ТНВД отрегулировали на безмоторном стенде на показатели дизеля Д-243 (4Ч 11/12,5). Номинальная объемная цикловая подача топлива составила $72,5 \pm 0,5 \text{ см}^3$ за 1000 циклов при частоте вращения кулачкового вала 1100 мин^{-1} , после чего были сняты скоростные характеристики ТНВД на минеральном ДТ. На двигателе трактора, работающем на ДСТ, был изменен установочный угол момента подачи топлива с 26 град. п.к.в. (норматив для дизеля Д-243, работающего на ДТ) до 29 град. п.к.в. Контроль за наработкой тракторов осуществлялся по заборной карте израсходованного топлива (текущего и суммарного). Дизельное смесевое топливо приготавливалось путем механического смешивания 50% рапсового масла и 50% минерального ДТ на территории нефтебазы хозяйства и заливалось в бак трактора по мере его расходования.

Тракторы выполняли примерно одинаковые по объему полевые и транспортные работы. Испытания проводились в течение двух весенне-летних сезонов (работу экспериментального трактора на ДСТ в зимнее время года обеспечить достаточно сложно). После первого сезона, с контрольного и экспериментального тракторов, снимали форсунки и ТНВД, затем в начале второго сезона снова устанавливали на исследуемые тракторы.

После первого и второго сезонов с контрольного и экспериментального тракторов снимали ТНВД и на безмоторном стенде определяли среднюю объемную цикловую подачу топлива и неравномерность подачи топлива по линиям нагнетания.

Замер цикловой подачи осуществлялся в условиях скоростной характеристики ТНВД в диапазоне частот вращения коленчатого вала от 110 мин^{-1} до 1100 мин^{-1} с шагом 100 мин^{-1} ; на всех частотах вращения кулачкового вала ТНВД число циклов составляло 1000.

После определения параметров топливоподачи ТНВД разбирали, производили испытания плунжерных пар на гидроплотность, измеряли внутренние диаметры втулок и диаметры плунжерных пар, определяли массу плунжерных пар ТНВД.

Перед вторым сезоном ТНВД собирали, регулировали на стенде на показатели дизеля Д-243 (4Ч 11/12,5) и устанавливали на тракторы.

По окончании второго сезона в конце эксплуатационных исследований дополнительно производили визуальный осмотр плунжерных пар, для чего ТНВД и плунжерные пары разбирали, а втулки плунжерных пар продольно разрезали на две части с помощью электроэрозионной резки.

В четвертом разделе «*Результаты экспериментальных исследований и их анализ*» приведены и проанализированы результаты лабораторных исследований по оценке влияния температуры и состава ДСТ на кинематическую вязкость и плотность, по оценке влияния состава ДСТ на цикловую подачу топлива ТНВД, результаты безмоторных ускоренных испытаний, а также результаты эксплуатационных исследований тракторов плунжерных пар ТНВД на износ при работе на смесевом рапсово-минеральном и минеральном топливах по показателям изнашивания плунжерных пар.

Анализ результатов ускоренных испытаний плунжерных пар на износ

Во время ускоренных испытаний 1 и 2 секции ТНВД работали на ДСТ с добавлением абразива 15 г/т, 3 и 4 секции работали на 100% ДТ с добавлением абразива 15 г/т. Осциллограммы давления топлива снимались перед ускоренными сравнительными испытаниями плунжерных пар на износ и через каждые 10 ч.

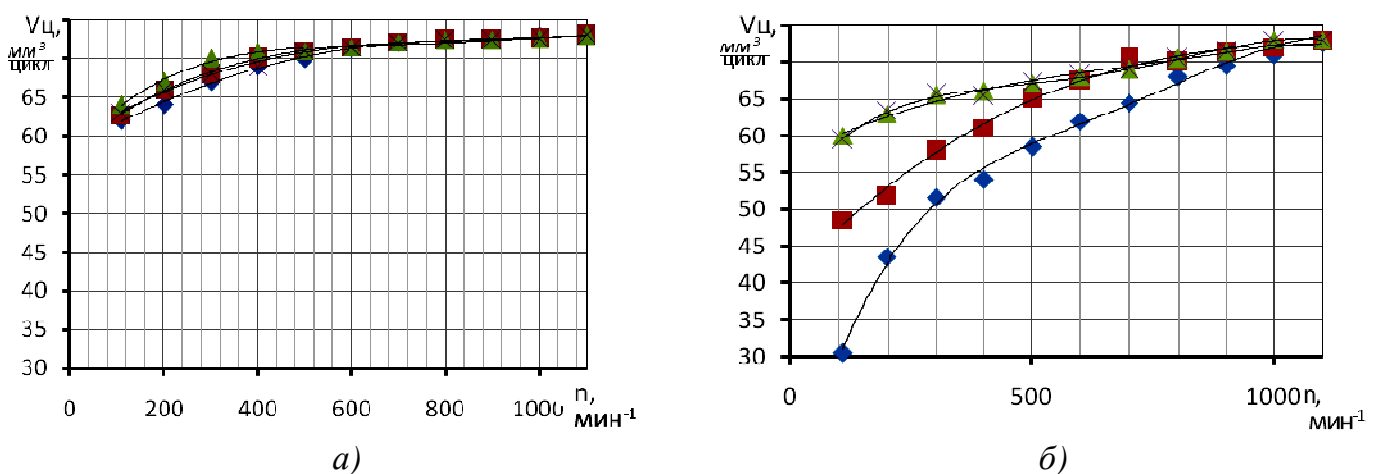


Рисунок 5 – Скоростные характеристики ТНВД: а) до испытаний плунжерных пар на износ; б) после 50 ч ускоренных испытаний плунжерных пар на износ: ◆ – 100%ДТ; ■ – 25%РМ+75%ДТ; ▲ – 50%РМ+50%ДТ; × – 75%РМ+25%ДТ

Из анализа скоростных характеристик (рисунок 5) следует, что в начале ускоренных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ, характер изменения объемной цикловой подачи топлива идентичен и соответствует показателям ТНВД при работе на новых плунжерных парах. Скоростные характеристики ТНВД, снятые после 50 ч работы плунжерных пар, показывают увеличение отклонения кривых $V_{ц}$ от первоначальных положений, т.е. чем меньше в топливе содержится рапсового масла, тем больше расхождение в сторону уменьшения цикловой подачи. На частоте 600 мин^{-1} при работе на ДТ в начале испытаний цикловая подача $V_{ц}=71,3 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, в конце испытаний $V_{ц}=62 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, на ДСТ состава 50%РМ+50%ДТ в начале испытаний $V_{ц}=71,3 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, в конце испытаний $V_{ц}=68 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. В процессе испытаний при снятии скоростных характеристик через каждые 10 ч существенное расхождение графиков наблюдается на частотах вращения кулачкового вала ТНВД в диапазоне от 110 мин^{-1} до 600 мин^{-1} .

Наиболее интенсивное снижение цикловой подачи топлива (рисунок б) по времени испытаний наблюдается при работе на 100% ДТ, за 50 ч испытаний цикловая подача снизилась с $V_{ц}=62 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ до $V_{ц}=30,5 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

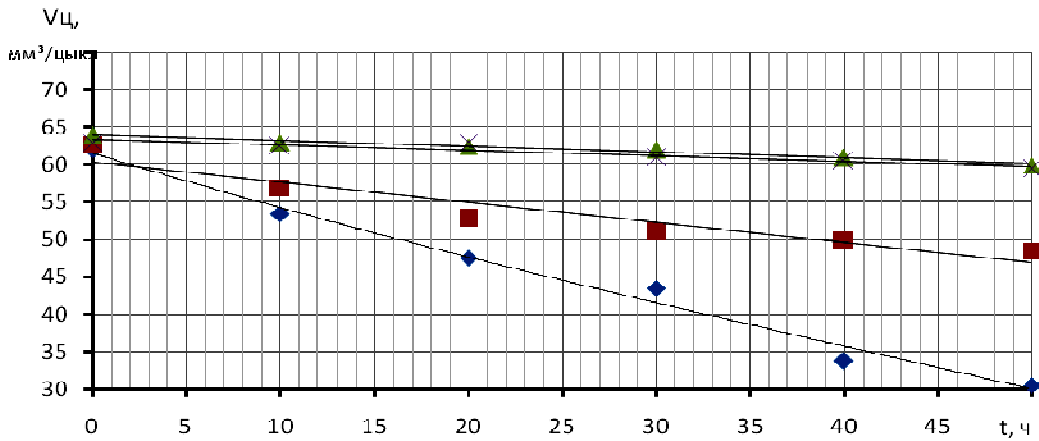


Рисунок 6 – Изменение цикловой подачи топлива в зависимости от продолжительности испытаний на пусковых оборотах (110 мин^{-1}): \blacklozenge – 100%РМ; \blacksquare – 25%РМ+75%ДТ; \blacktriangle – 50%РМ+50%ДТ; \times – 75%РМ+25%ДТ

Результаты обработки осциллограмм давления топлива.

Из анализа осциллограмм (рисунок 7), снятых до начала ускоренных испытаний плунжерных пар ТНВД на износ, видно, что максимальное давление топлива на выходе из всех насосных секций одинаковое.

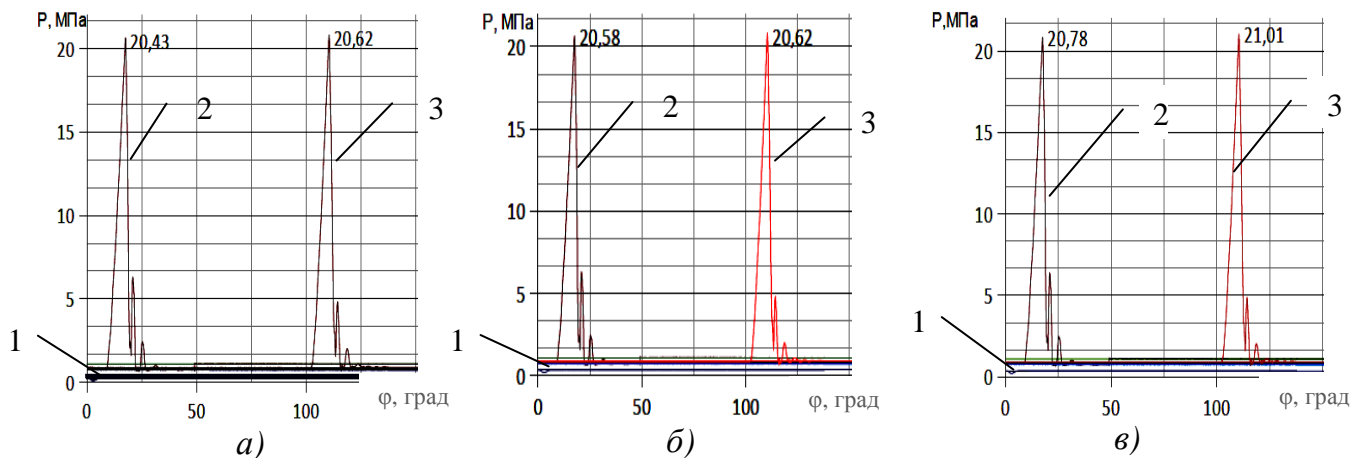


Рисунок 7 – Осциллограммы давления топлива на выходе из штуцеров насосных секций ТНВД, снятые перед испытаниями: а) ДСТ 25%РМ+75%ДТ; б) ДСТ 50%РМ+50%ДТ; в) ДСТ 75%РМ+25%ДТ; 1 – сигнал с датчика синхронизации; 2, 3 – осциллограммы давлений на выходах из штуцера 1 и 3 секции высокого давления ТНВД соответственно

После первых 10 ч ускоренных испытаний наблюдается расхождение в значениях максимального давления топлива на выходах из секций ТНВД. В секциях, работавших на ДСТ 25%РМ+75%ДТ, давление снизилось на 3%; на ДСТ 50%РМ+50% ДТ – на 2,5%; на ДСТ 75%РМ+25%ДТ – на 2%; на 100% ДТ – на 6%. В целом за 50 ч ускоренных испытаний в секциях, работавших на ДСТ 25%РМ+75%ДТ, давление топлива снизилось на 7%; на ДСТ 50%РМ+50% ДТ – на 6%; на ДСТ 75%РМ+25%ДТ – на 6,4%; на 100%ДТ – на 11,3% (рисунок 8).

На основании осциллограмм давления топлива построена зависимость максимального давления топлива на выходе из штуцеров насосных секций ТНВД от продолжительности ускоренных износных испытаний (рисунок 9).

Из анализа графика изменения скорости нарастания давления топлива на выходе из штуцера секций ТНВД (рисунок 10) на пусковых оборотах (110 мин^{-1}) следует, что интенсивность падения давления топлива в процессе испытаний снижается с увеличени-

ем количества рапсового масла в смесевом топливе. В течение 50 ч ускоренных испытаний плунжерных пар на износ скорость нарастания давления топлива на всех испытываемых топливах снизилась.

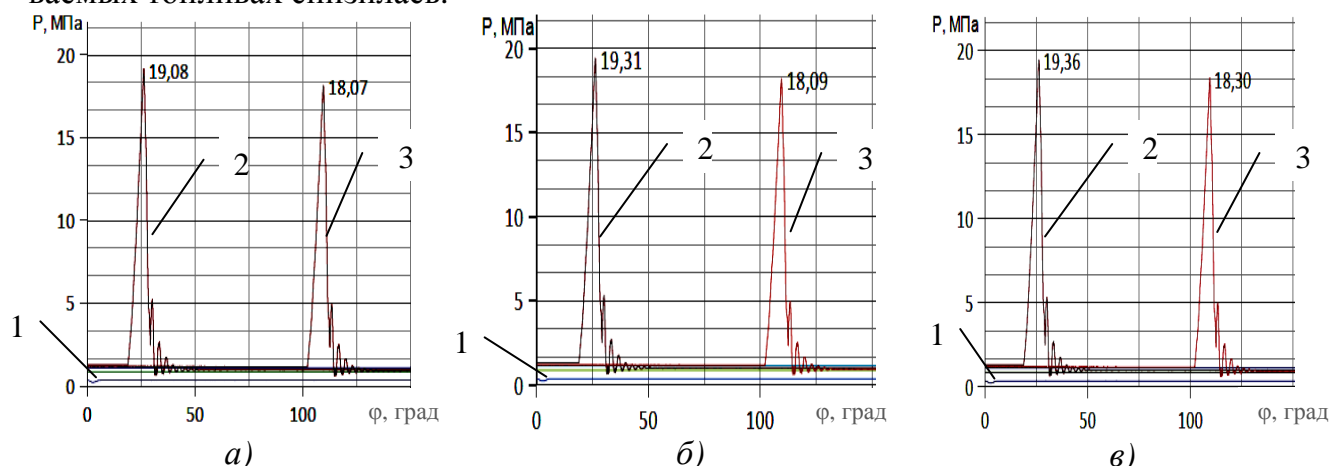


Рисунок 8 – Осциллограммы давления топлива на выходе из штуцеров насосных секций ТНВД после 50 ч испытаний: а) ДСТ 25%РМ+75%ДТ; б) ДСТ 50%РМ+50%ДТ; в) ДСТ 75%РМ+25%ДТ; 1 – сигнал с датчика синхронизации; 2, 3 – осциллограммы давлений на выходах из штуцера 1 и 3 секции высокого давления ТНВД соответственно

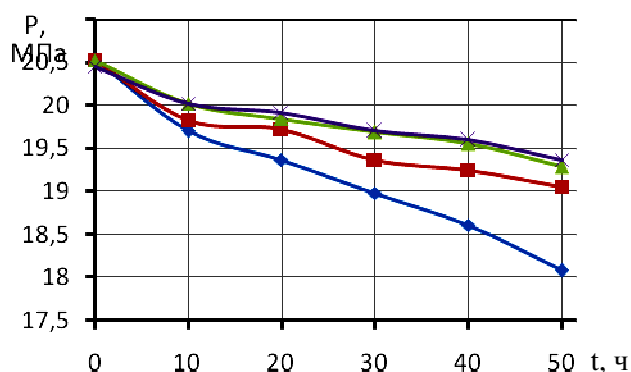


Рисунок 9 – Изменение максимального давления топлива на выходе из штуцеров секций высокого давления ТНВД от продолжительности ускоренных износных испытаний: ◆ – 100%ДТ; ■ – 25%РМ+75%ДТ; ▲ – 50%РМ+50%ДТ; × – 75%РМ+25%ДТ

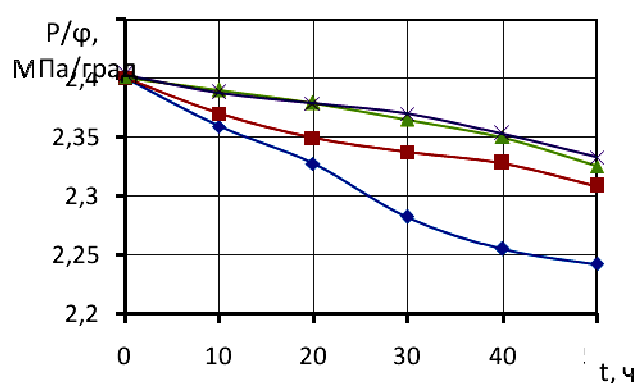


Рисунок 10 – Изменение скорости нарастания давления топлива на пусковых оборотах 110 мин⁻¹ от продолжительности ускоренных износных испытаний: ◆ – 100%ДТ; ■ – 25%РМ+75%ДТ; ▲ – 50%РМ+50%ДТ; × – 75%РМ+25%ДТ

В секциях, работавших на ДСТ 25%РМ+75%ДТ, скорость нарастания давления топлива до ускоренных испытаний была 2,4 МПа/град, после испытаний – 2,3 МПа/град (т.е. снизилась на 4,1%); на ДСТ 50%РМ+50%ДТ до испытаний – 2,4 МПа/град, после – 2,33 МПа/град (т.е. снизилась на 2,9%); на ДСТ 75%РМ+25%ДТ до испытаний – 2,4 МПа/град, после – 2,33МПа/град (т.е. снизилась на 3,3%); на 100%ДТ до испытаний – 2,4 МПа/град, после – 2,24МПа/град (снизилась на 6,7%). Из вышесказанного можно предположить, что наибольший износ имеют плунжерные пары, испытываемые на 100% ДТ.

Результаты измерений геометрических параметров деталей плунжерных пар ТНВД показали, что наибольшему износу на всех испытываемых топливах подверглись плунжерные пары от верхнего торца до впускного отверстия в виде конуса.

Наибольшее увеличение зазора в сопряжении «плунжер - втулка» наблюдается при работе на 100% ДТ: до начала испытаний $\delta=1$ мкм, после испытаний $\delta=4$ мкм; в плунжерной паре, работающей на ДСТ 25%РМ+75%ДТ: до начала испытаний $\delta=1$ мкм,

после испытаний $\delta=3$ мкм; в плунжерной паре, работающей на ДСТ 50%РМ+50%ДТ: до начала испытаний $\delta=1$ мкм, после испытаний $\delta=2$ мкм; в плунжерной паре, работающей на ДСТ 75%РМ+25%ДТ: до начала испытаний $\delta=1$ мкм, после испытаний $\delta=2$ мкм.

Визуальный осмотр плунжеров и разрезов втулок показал, что плунжеры в наибольшей степени изношены в зоне напротив впускного отверстия: ширина изношенного участка по окружности 4,5 мм, длина 9,5 мм. От верхнего торца плунжера идут продольные глубокие бороздки, зона изношенного участка имеет матовый оттенок.

Осмотр продольно разрезанных втулок плунжерных пар показал, что втулки в наибольшей степени изношены в зоне впускного отверстия. Ширина изношенного участка по окружности 4,5 мм, от впускного отверстия до верхнего торца втулки идут продольные глубокие бороздки. С приближением к верхнему торцу втулки зона изношенного участка имеет более выраженный характер.

Плунжерные пары, работавшие на минеральном ДТ, имеют изношенные участки с более выраженными контурами по сравнению с парами, работающими на ДСТ.

Результаты измерений гидравлической плотности плунжерных пар до и после ускоренных испытаний ТНВД

В результате проведенных ускоренных испытаний плунжерных пар при работе ТНВД на 100% ДТ время падения давления топлива снизилось с 26,6 с до 5 с; на ДСТ 25%РМ+75%ДТ – с 26,3 с до 13,5 с; на ДСТ 50%РМ+50%ДТ – с 27 с до 19 с; на ДСТ 75%РМ+25%ДТ – с 26,5 с до 18 с.

Анализ результатов взвешивания плунжерных пар перед и после ускоренных испытаний ТНВД на износ плунжерных пар показывает, что при увеличении концентрации рапсового масла в ДСТ средний массовый износ снижается (рисунок 11).

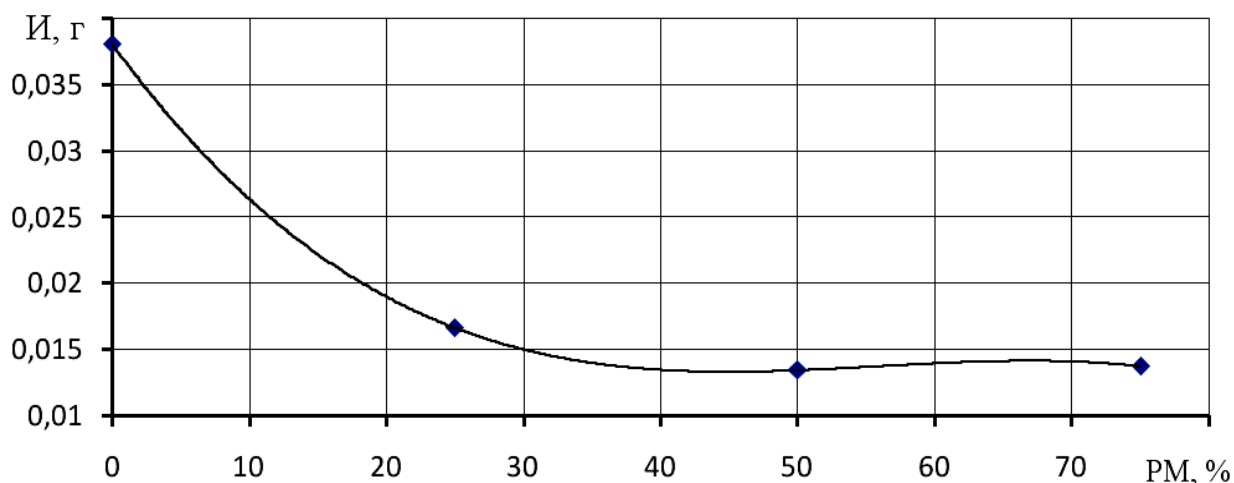


Рисунок 11 – Изменение массового износа плунжерных пар в зависимости от содержания рапсового масла в ДСТ после 50 ч ускоренных испытаний ТНВД

Из графика изменения износа (рисунок 12) видно, что при увеличении концентрации рапсового масла в ДСТ массовый износ снижается до минимального значения, что соответствует содержанию рапсового масла от 40% до 50%, при увеличении концентрации расового масла массовый износ незначительно увеличивается.

Результаты эксплуатационных исследований тракторов при работе на смеси рапсово-минеральном и минеральном топливах по показателям изнашивания плунжерных пар ТНВД

Из результатов исследований скоростных характеристик ТНВД штатного и экспериментального тракторов (рисунок 12) видно, что перед эксплуатационными испытаниями характер изменения цикловой подачи идентичен и соответствует показателям

ТНВД при работе на новых плунжерных парах. Скоростные характеристики ТНВД, снятые после эксплуатационных исследований, показывают, что на топливном насосе экспериментального трактора наблюдается наименьшее отклонение кривых $V_{ц}$ от первоначальных значений в сторону уменьшения цикловой подачи. Цикловая подача ТНВД экспериментального трактора на пусковой частоте 110 мин^{-1} после первого периода наблюдений (1170 мото-ч) снизилась с $V_{ц}=63 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ до $V_{ц}=60 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, после второго (896 мото-ч) – до $V_{ц}=55 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

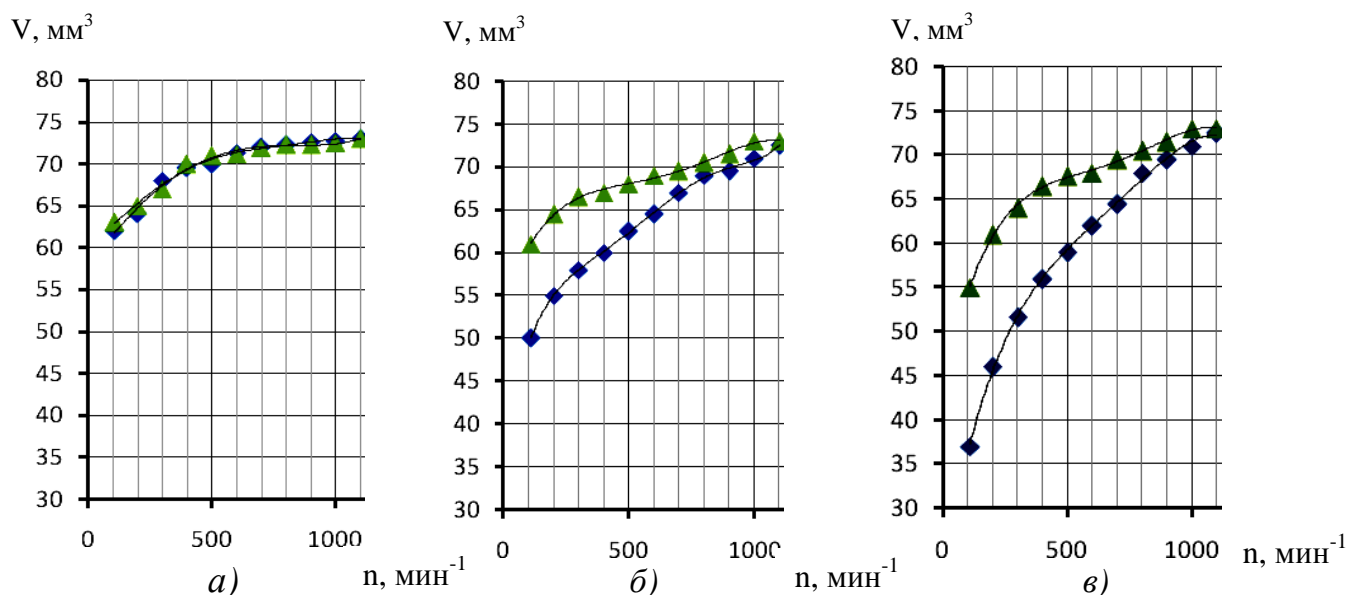


Рисунок 12 – Скоростные характеристики ТНВД: а) до начала наблюдений; б) после первого периода наблюдений; в) после второго периода наблюдений; \blacklozenge – базовый; \blacktriangle – экспериментальный

Из анализа осциллограмм, снятых перед эксплуатационными исследованиями тракторов следует, что максимальное давление топлива во всех секциях испытуемых ТНВД практически одинаковое: на экспериментальном 20,62 МПа, на штатном 20,65 МПа. После окончания эксплуатационных исследований максимальное давление топлива на выходе из штуцеров насосных секций ТНВД экспериментального трактора снизилось на 10,1% (до 18,56 МПа), штатного – на 16,7% (до 17,22 МПа).

Цикловая подача ТНВД штатного трактора на пусковой частоте 110 мин^{-1} , после первого периода наблюдений (1220 мото-ч) снизилась с $V_{ц}=62 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ до $V_{ц}=50 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, после второго (1060 мото-ч) – до $V_{ц}=36 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

Обработка результатов эксплуатационных исследований (табл. 1 и 2) показала, что при работе трактора на ДСТ 50%РМ+50%ДТ интенсивность массового износа составила $0,0337 \cdot 10^{-3} \text{ г/мото-ч}$; на 100%ДТ – $0,0092 \cdot 10^{-3} \text{ г/мото-ч}$. Интенсивность увеличения зазора при работе трактора на ДСТ 50%РМ+50%ДТ составила $0,00048 \text{ мкм/мото-ч}$, при работе на 100%ДТ – $0,00153 \text{ мкм/мото-ч}$. Следовательно, при работе трактора на ДСТ 50%РМ+50%ДТ интенсивность изнашивания плунжерных пар снижается в 3,66 раз, а интенсивность увеличения зазора в сопряжении «плунжер - втулка» в 3,2 раза ниже, чем при работе на 100% ДТ.

В пятом разделе «*Экономическое обоснование использования смесового рапсово-минерального топлива в дизелях тракторов*» выполнен расчет годового экономического эффекта при использовании в качестве моторного топлива смесевых растительно-минеральных топлив. Годовой экономический эффект от использования в качестве моторного топлива дизельного смесового рапсово-минерального топлива 50%РМ + 50% ДТ составляет 8152 руб. на один трактор.

Таблица 1 – Масса плунжерных пар ТНВД за наблюдаемый период

Вид испытаний (наблюдений)	Трактор штатного исполнения				Средн. износ	Трактор экспериментального исполнения				Средн. износ
	Масса плунжерных пар секций, г					Масса плунжерных пар секций, г				
	1	2	3	4		1	2	3	4	
До испытаний	94,3438	94,3419	93,634	92,85		94,2512	94,5706	94,221	93,458	
После первого периода наблюдений	94,3313	94,3251	93,622	92,761	0,0326	94,2459	94,5588	94,219	93,443	0,0084
После второго второго периода наблюдений	94,3186	94,2999	93,578	92,665	0,0445	94,2316	94,5491	94,208	93,435	0,0107
За два периода					0,077					0,0191

Таблица 2 – Величина зазора в сопряжении «плунжер - втулка» ТНВД за наблюдаемый период

Вид испытаний (наблюдений)	Трактор штатного исполнения				Трактор экспериментального исполнения			
	Зазор в сопряжении «плунжер - втулка» секции, мм				Зазор в сопряжении «плунжер - втулка» секции, мм			
	1	2	3	4	1	2	3	4
До испытаний	0,0015	0,0014	0,0015	0,001	0,001	0,0015	0,0015	0,0014
После первого сезона наблюдений	0,0025	0,0023	0,0025	0,0023	0,0013	0,0020	0,0018	0,0018
После второго сезона наблюдений	0,0050	0,0055	0,0045	0,0045	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025

Общие выводы

1. Изучены закономерности изнашивания плунжерных пар ТНВД при работе на дизельном смесевом топливе (ДСТ) с различным объемным содержанием рапсового масла (РМ). В результате теоретических исследований выявлено, что с повышением концентрации РМ в ДСТ увеличивается кинематическая вязкость топлива (от 3,8 мм²/с до 80,5 мм²/с при t = 20°С), что ведет к возрастанию давления топлива в надплунжерном пространстве насосных секций ТНВД (от 40 МПа до 85 МПа), деформации втулки и, в момент нагнетания топлива, к увеличению диаметрального зазора в сопряжении «плунжер - втулка» (на величину от 0,05 мкм до 0,5 мкм). Это, в свою очередь, позволяет более крупным абразивным частицам попадать в зазор, что повышает общее количество абразивных частиц, контактирующих с поверхностями пар трения. Однако при увеличении содержания РМ в ДСТ утечки топлива через зазор в сопряжении «плунжер - втулка» существенно снижаются. Кроме того, поверхностно-активные вещества, содержащиеся в РМ, образуют адсорбционную пленку на поверхностях пар трения, за счет чего зазор в указанном сопряжении уменьшается (суммарная максимальная толщина адсорбционной пленки на поверхностях трения 0,16 мкм). Уменьшение диаметрального зазора в сопряжении «плунжер - втулка» и снижение утечек топлива приводит к уменьшению количества абразивных частиц, контактирующих с поверхностями пар трения.

2. Математически описан процесс изнашивания плунжерных пар ТНВД при работе на

ДСТ в зависимости от объёмного содержания рапсового масла. Получена формула для расчета массового износа плунжерных пар ТНВД в зависимости от концентрации рапсового масла в ДСТ, количества абразивных частиц в топливе, начального зазора в сопряжении «плунжер - втулка» и продолжительности работы ТНВД.

3. Экспериментальная оценка влияния состава ДСТ на износ плунжерных пар ТНВД и параметры топливоподачи по результатам сравнительных ускоренных испытаний ТНВД на безмоторном стенде показала, что наименьшее увеличение зазора в сопряжении «плунжер – втулка» наблюдается при работе ТНВД на ДСТ 50%РМ+50%ДТ и на ДСТ 75%РМ+25%ДТ; массовый износ на ДСТ 50%РМ+50%ДТ снизился на 65%, максимальное давление топлива снизилось на 6%, скорость нарастания давления на 2,9%; в секциях, работавших на 100% ДТ, максимальное давление топлива снизилось на 11,3%, скорость нарастания давления на 6,7%. Цикловая подача на пусковой частоте вращения кулачкового вала ТНВД (110 мин^{-1}) при работе на ДСТ 50%РМ+50%ДТ снизилась с $V_{ц}=63 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ до $V_{ц}=60 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, на 100%ДТ – до $V_{ц}=30,5 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

Эксплуатационные исследования тракторов при работе на ДСТ и ДТ показывают, что при работе трактора на ДСТ 50%РМ+50%ДТ интенсивность увеличения зазора в сопряжении «плунжер - втулка» уменьшилась в 3,2 раза, а интенсивность изнашивания плунжерных пар в 3,66 раза ниже, чем при работе на 100% ДТ. Цикловая подача топлива на пусковой частоте вращения кулачкового вала ТНВД экспериментального трактора (после 2066 мото-ч наработки) составила $55 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, что на $19 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ больше, чем при работе трактора на 100% ДТ. Среднее максимальное давление топлива на выходе из штуцеров насосных секций ТНВД на пусковых оборотах составило 18,42 МПа, что на 1,1 МПа больше, чем при работе трактора на 100% ДТ.

4. По результатам исследований плунжерных пар ТНВД на износ наиболее целесообразно применять ДСТ в соотношении 50%РМ+50%ДТ.

Годовой экономический эффект от использования в качестве моторного топлива ДСТ 50%РМ + 50%ДТ составляет 8152 руб. на один трактор.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Уханов, Д.А. Определение пропускной способности форсунок и топливопроводов / Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов // Сельский механизатор. – 2009. – №11. – С. 36.

2. Уханов, А.П. Теоретическая оценка влияния дизельного смесового топлива на износ плунжерных пар ТНВД / А.П.Уханов, Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – № 2 (14). – С. 115-119.

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

4. Уханов, А.П. Теоретическая и экспериментальная оценка влияния дизельного смесового топлива на параметры топливоподачи / А.П. Уханов, А.С. Аверьянов, Е.Г. Ротанов // Известия Самарской ГСХА. – 2011. – № 3. – С. 97-101.

Патент РФ на полезную модель

5. Патент на полезную модель 97773 Россия, МПК F 02 M 59/00. Рядный топливный насос высокого давления для сравнительных испытаний плунжерных пар / Е.Г. Ротанов, А.П. Уханов, Д.А. Уханов. – №2010107664/22; Заяв. 02.03.2010; Опубл. 20.09.2010, Бюл. №26.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций

6. Кожевников, А.П. Оценка влияния физических параметров топлива на мелкость его распыливания. и на угол рассеивания топливной струи / А.П. Кожевников, Е.Г. Ротанов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Сб. материалов Международной НПК. – Димитровград ТИ – филиал УГСХА, 2008. – С. 16-19.

7. Уханов, А.П. Актуальность применения биотоплива на основе рапсового масла / А.П. Уханов, А.П. Кожевников, Е.Г. Ротанов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Сб. материалов Международной НПК. – Димитровград ТИ – филиал УГСХА, 2008. – С. 22-24.

8. Ротанов, Е.Г. Нужно ли России биотопливо? / Е.Г. Ротанов // Научный вестник. Вып.7. – Димитровград: ТИ – филиал УГСХА, 2008. – С. 69-71.

9. Губейдуллин, Х.Х. Влияние рапсового масла на износ плунжерных пар в рядных топливных насосах / Х.Х. Губейдуллин, А.С., Кожевников, Е.Г. Ротанов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Сб. материалов Международной НПК. – Димитровград ТИ – филиал УГСХА, 2009. – С. 36-39.

10. Уханов, Д. А. Теоретическая оценка влияния рапсово-минерального топлива на износ плунжерных пар топливных насосов / Д. А. Уханов, Е. Г. Ротанов // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сб. материалов Всероссийской НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – С. 9-11.

11. Уханов, Д. А. Метод сравнительного анализа износа плунжерных пар ТНВД при работе на минеральном и альтернативном видах моторного топлива / Д. А. Уханов, Е. Г. Ротанов // Достижения и перспективы развития биотехнологии: Сб. материалов Всероссийской НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010. – С. 94-97.

12. Губейдуллин, Х.Х. Определение пропускной способности форсунок и топливопроводов / Х.Х. Губейдуллин, Д.А. Уханов, Е.Г. Ротанов // Научный вестник. Вып.9. – Димитровград: ТИ – филиал УГСХА, 2010. – С. 32-35.

13. Уханов, Д. А. Результаты сравнительных износных исследований рядного ТНВД при работе на минеральном дизельном топливе и рапсовом масле / Д. А. Уханов, А. П. Уханов, Е. Г. Ротанов // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сб. материалов Всероссийской НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010. – С. 129-131.

14. Результаты стендовых износных испытаний плунжерных пар топливного насоса 4УТНМ при использовании минерального и смесового топлив / Е.Г. Ротанов, А.С. Аверьянов, Д.А. Уханов, А.П. Уханов // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: Сб. материалов Всероссийской НПК посвященной 60-летию ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА» Т.1. – Пенза: РИО ПГСХА, 2011. – С. 273-274.

15. Ротанов, Е.Г. Результаты сравнительных износных испытаний плунжерных пар рядного ТНВД при работе на минеральном дизельном топливе и смесовом рапсово-минеральном топливе. / Е.Г. Ротанов // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: Материалы IV Междунар. НПК «Наука – Технология – Ресурсосбережение»: Сб. науч. трудов. – СПб. – Киров: Вятская ГСХА, 2011. – С. 118-123.

Подписано в печать 08.02.2012 г. Формат 60×84/16.

Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 48

Отпечатано с готового оригинал-макета

в Пензенской мини-типографии

Свидетельство № 5551

440600, г. Пенза, ул. Московская, 74