

ВЛИЯНИЕ СМЕСЕВЫХ МИНЕРАЛЬНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ НА РЕСУРС ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Быченин Александр Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8(846-63)46-3-46.

Быченина Марина Александровна, соискатель кафедры «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8(846-63)46-3-46.

Ключевые слова: топливо, смешанное, минерально-растительное, пара, прецизионная, ресурс, двигатель, дизельный.

Представлены теоретические предпосылки повышения ресурса прецизионных пар при использовании смешанных минерально-растительных топлив. Приведены методика и результаты поисковых исследований противоположных свойств минерально-растительных топлив.

Тракторы, оснащенные дизельными двигателями внутреннего сгорания, в настоящее время являются основными энергетическими средствами в сельском хозяйстве Российской Федерации. Автомобильный парк, особенно большегрузный, также характеризуется широким использованием двигателей с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением от сжатия, что приводит к ежегодному росту потребления дизельных моторных топлив. Гибридные силовые установки в этих отраслях широкого применения пока что не находят, поэтому возникает проблема экономии невозобновимых запасов нефти, из которой и производится подавляющее большинство современных жидких топлив на углеводородной основе. Наиболее актуальным и перспективным способом решения данной проблемы является частичное или полное замещение минеральных топлив топливом синтетическими, либо биологического происхождения. Таким изысканиям посвящено значительное количество научных работ, однако вопрос влияния альтернативных энергоносителей на ресурс топливоподающей аппаратуры рассмотрен недостаточно широко.

Цель исследования – оценить влияние смешанных минерально-растительных топлив на повышение ресурса прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры. Исходя из поставленной цели, в *задачу исследования* входило: провести краткий анализ видов альтернативных топлив и способов их использования в автотранспортной технике; теоретически обосновать влияние смешанных минерально-растительных топлив на режим трения в прецизионных парах дизельной топливоподающей аппаратуры; экспериментально оценить влияние смешанных минерально-растительных топлив на диаметр пятна износа при испытаниях на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 на примере смешанных топлив на основе рапсового, горчицевого, рыжикового и льняного масел.

Помимо традиционных нефтяных моторных топлив в настоящее время во многих странах идет активное освоение альтернативных энергоносителей. Чаще всего это попутный нефтяной или природный газ, используемый как в чистом виде при оснащении двигателей соответствующим оборудованием, так и в качестве сырья для получения синтетических жидких топлив. Для тех же целей достаточно широко используется уголь. Еще одним распространенным исходным сырьем для получения синтетических топлив является биомасса, используемая для переработки в биоэтанол. Однако такое топливо предназначено в основном для использования в двигателях, с принудительным зажиганием в чистом виде или в качестве добавок к бензинам. Для производства биоэтанола в Бразилии используется сахарный тростник, в США и Европе – кукуруза, однако для этих целей возможно использование и других культур, таких как сорго, сахарная свекла, ячмень, пшеница [1]. Использование таких топлив в дизельных двигателях ограничено, так как требуется использование одновременно двух топливных систем: для подачи газа во впускной коллектор, и для подачи запальной дозы дизельного топлива через стандартную топливоподающую аппаратуру (ТПА). К тому же возникает проблема детонации, не свойственная дизельным двигателям при работе на чистом дизельном топливе.

На первом месте среди альтернативных топлив органического происхождения в настоящее время стоит биодизель – метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ). Получают его при взаимодействии рапсового масла с метанолом в присутствии катализатора – гидроксида калия (KOH) и фосфатида (H_3PO_4). Такое

топливо может использоваться в дизельных двигателях в чистом виде, однако для его получения требуется сложное химическое производство [2].

Самым рациональным способом использования альтернативных энергоносителей является применение в автотракторной технике смесевых минерально-растительных топлив, представляющих собой смеси дизельного топлива с растительными маслами в разных пропорциях. В качестве компонентов таких топлив широко используются рапсовое, сурепное, рыжиковое, горчичное и другие растительные масла. Наиболее распространено использование рапсового масла. В настоящее время некоторые производители тракторной техники оснащают свою продукцию серийными двигателями, адаптированными к альтернативным топливам. Например, фирма New Holland предлагает линейку тракторов Т6000, двигатели которых приспособлены к работе со 100% биодизелем. Тракторы серии Т7000 совместимы с 20%-м биодизельным горючим типа В20. Комбайн Claas Tucano оснащается двигателем, адаптированным к использованию МЭРМ. Серия тракторов Fendt 820 Vario Green Tech оснащена серийной двухтопливной системой питания, позволяющей использовать в качестве топлива 100%-е рапсовое масло холодного отжима.

Популярность рапсового масла в качестве альтернативного энергоносителя обусловила появление достаточно большого количества работ, посвященных адаптации дизельных двигателей к его использованию в качестве топлива, либо его компонента. Например, В. Н. Фомин [3] пришел к выводу, что наиболее оптимальным составом смесового минерально-растительного топлива на основе рапсового масла является смесь 70% ДТ + 30% РМ (в объемных долях). При этом мощностные показатели двигателя снижаются незначительно (5,6-8,5%), расход смесового топлива по сравнению с минеральным увеличивается на 10%, и обеспечивается снижение дымности на 44.

Изменение физико-химических свойств смесевых топлив по сравнению с товарным ДТ приводит к необходимости адаптации ТПА. Например, А. С. Аверьянов [4] предлагает устройство, улучшающее параметры топливоподачи при работе дизеля на смесовом топливе, встроенное непосредственно в штатный всережимный регулятор насоса типа УТН-5. Устройство осуществляет корректирование цикловой подачи по вязкостно-температурной характеристике и позволяет использовать смесовое топливо с объемным содержанием рапсового масла 50-75% при его подогреве до 80°C.

Также достаточно большое количество работ посвящено технологии получения дизельных смесевых топлив с улучшенными свойствам как стационарно, так и непосредственно на тракторах. Однако во всех случаях исследованию трибологических свойств таких топлив уделяется недостаточно внимания.

Рапсовое масло как смазочный материал обладает достаточно высокими противоизносными свойствами, что подтверждено в работах В. В. Ефимова и А. Г. Зимина [6, 7]. Здесь рапсовое масло является основой для смазочной композиции, предназначенной для использования в трансмиссии, либо для рабочей жидкости гидросистемы. Однако результаты, показывающие снижение изнашивания золотников гидрораспределителей, позволяют предположить, что рапсовое масло окажет аналогичное действие и на прецизионные пары дизельной ТПА.

Были проведены исследования по влиянию смесового минерально-растительного топлива на основе рапсового масла на ресурс плунжерных пар ТНВД дизелей [8].

Анализ химического состава растительных масел показывает, что в рапсовом масле содержится значительное количество органических поверхностно-активных веществ, в частности, олеиновых кислот. Данное обстоятельство благоприятствует его использованию в качестве компонента смесового минерально-растительного топлива, предназначенного для улучшения режима трения прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры. Поверхностно-активные вещества способствуют образованию на поверхности трения защитной пленки, значительно снижающей нагрузку на материал детали, что в результате приводит к уменьшению износа.

Сущностью предлагаемого способа повышения ресурса плунжерных пар ТНВД дизеля является улучшение режима смазывания сопряжения при применении смесового минерально-растительного топлива за счет образования на поверхностях трения демпфирующих пленок органических ПАВ, которые препятствуют внедрению абразивных частиц в материал поверхности трения.

Расчетный метод определения величины износа сопряжения основан на взаимосвязи коэффициента трения в сопряжении, в присутствии смазочной среды с глубиной внедрения абразивной частицы в поверхность трения. Снижение коэффициента трения при абразивном взаимодействии происходит за счет уменьшения глубины внедрения частицы в поверхность металла в результате сопротивления сжатию демпферной пленки ПАВ.

Износ поверхности трения в процессе абразивного изнашивания прецизионных пар дизельной топливной аппаратуры представим в виде функции

$$i = f(T, n, V_{абр}), \quad (1)$$

где i – объемный износ поверхности трения, мм³; T – время работы сопряжения, ч.; n – количество абразивных частиц, проходящих через сопряжение за единицу времени, 1/ч; $V_{абр}$ – объем материала, удаленного одной абразивной частицей, мм³.

Здесь $V_{абр}$ зависит от глубины внедрения абразивной частицы в материал поверхности трения.

Характерны два случая внедрения абразивной частицы в материал поверхности трения:

- частица под давлением внедряется в поверхность трения – пластическая деформация (рис. 1, а);
- частица под давлением внедряется в поверхность трения и перемещается, оставляя царапину (рис. 1, б).

Принимаем следующие ограничения:

- абразивная частица имеет форму шара со сферической поверхностью внедрения;
- объемный износ равен объему внедренной части абразивной частицы;
- внедрение абразивной частицы является постоянным на всем пути ее перемещения.

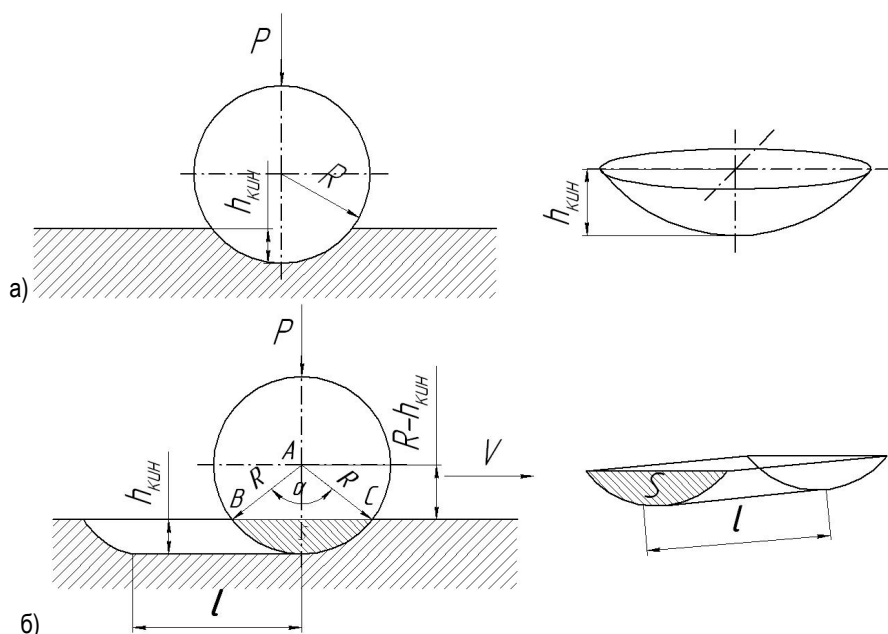


Рис. 1. Внедрение абразивной частицы в поверхность трения:

а – расчетная схема для определения объема внедрения абразивной частицы в поверхность трения;
б – расчетная схема для определения объема внедрения абразивной частицы и объема удаленного материала при образовании царапины

В первом случае предлагается следующая формула для определения объемного износа поверхности трения:

$$i = \psi_1 f^4 (1 - 2,08 f^2), \quad (2)$$

где f – коэффициент трения; ψ_1 – коэффициент, характеризующий влияние геометрических размеров абразивных частиц, их количества, попадающего в сопряжение в единицу времени, и времени работы сопряжения на параметры трения и изнашивания поверхностей [8].

Во втором случае формула для определения объемного износа поверхности трения имеет следующий вид:

$$i = f^4 \cdot [\psi_1 \cdot (1 - 2,08 f^2) + \psi_2], \quad (3)$$

где ψ_2 – коэффициент, характеризующий влияние на параметры трения геометрических размеров абразивных частиц, их количества, попадающего в сопряжение в единицу времени, и времени работы при движении абразивных частиц в сопряжении, сопровождающемся микрорезанием [8].

Из формул (2) и (3) видно, что на величину износа сопряжения влияют не только условия работы деталей (количество и размер частиц, время работы), но и условия смазывания.

Для характеристики условий смазывания введем универсальный показатель – коэффициент абразивной агрессивности смазочной среды k :

$$k = \frac{f}{f_{\text{э}}}, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения в сопряжении при смазывании смесевым минерально-растительным топливом; $f_{\text{э}}$ – коэффициент трения в сопряжении при смазывании эталонным смазочным материалом.

Коэффициент абразивной агрессивности смазочной среды – это отношение коэффициента трения в сопряжении при смазывании смесевым минерально-растительным топливом к коэффициенту трения в сопряжении при смазывании эталонным смазочным материалом. В нашем случае за эталонный смазочный материал принято товарное зимнее дизельное топливо при отсутствии абразивных загрязнений.

Коэффициент абразивной агрессивности позволяет определять трибологические свойства смазочной среды исходя из состава смесового минерально-растительного топлива и наличия абразивных примесей, а также изменять их, приближая трибологические качества смесового минерально-растительного топлива к эталонным, в зависимости от условий работы.

В таком случае износ будет выражаться формулой

$$i = k^4 f_{\text{э}}^4 [\psi_1 (1 - 2,08 k^2 f_2^2) + \psi_2]. \quad (5)$$

Проведенный анализ результатов многофакторного эксперимента по определению коэффициента абразивной агрессивности смазочной среды позволил составить уравнение регрессии следующего вида:

$$k = 0,957 - 0,00456 \cdot \gamma_p + 5,333 \cdot \gamma_a + 0,000049 \cdot \gamma_p^2 - 4,444 \cdot \gamma_a^2 - 0,058 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_a, \quad (6)$$

где γ_p – концентрация рапсового масла в смесовом топливе, % по объему; γ_a – концентрация абразивных частиц в смесовом топливе, % по массе.

По уравнению (6) и построена поверхность отклика (рис. 2, а).

Данная закономерность подтверждается результатами ускоренных износных испытаний насосов типа УН-5 на модернизированном стенде КИ-921М и ресурсных испытаний на стенде специальной конструкции [8]. Максимальный износ сопряжения получен при значении коэффициента абразивной агрессивности $k=0,86$ при использовании смесового минерально-растительного топлива следующего состава: 70% дизельного топлива + 30% рапсового масла по объему. Срок службы сопряжения при использовании смесового минерально-растительного топлива ($k=0,86$) увеличился в 1,27 раза [8].

Полученные результаты подтверждены в работе Е. Г. Ротанова [9]. Автор рекомендует в качестве рациональной смесь 50% ДТ + 50% РМ, однако в этом случае требуется изменение конструктивных показателей ТПА либо подогрев смесового топлива.

Также в качестве компонентов альтернативного топлива возможно и использование других растительных масел, как возобновляемого ресурса. Например, работа В. А. Голубева [10] посвящена использованию горчишно-минерального топлива. Согласно результатам исследования, по показателям рабочего процесса, индикаторным и эффективным показателям дизеля и эксплуатационным показателям трактора рациональным является смесовое топливо 25% ГорМ + 75% ДТ; по экологическим и экономическим показателям – топливо 50% ГорМ + 50% ДТ.

Анализ химического состава различных растительных масел (рапсового, сурепного, горчишного, льняного, рыжикового и др.) показал, что все они содержат значительное количество непредельных жирных кислот, являющихся поверхностно-активными веществами. Можно в таком случае предположить, что использование этих масел в качестве компонентов смесового моторного топлива положительно скажется на его трибологических свойствах и позволит повысить ресурс прецизионных пар дизельной ТПА. В связи с этим в учебно-научно-исследовательской лаборатории «Повышение надежности и эффективности механических систем» СГСХА были проведены поисковые исследования смесовых топлив с концентрацией растительных масел до 50% по объему (рис. 3) на примере льняного, рыжикового и горчишного масла, подтвердившие справедливость этого предположения.

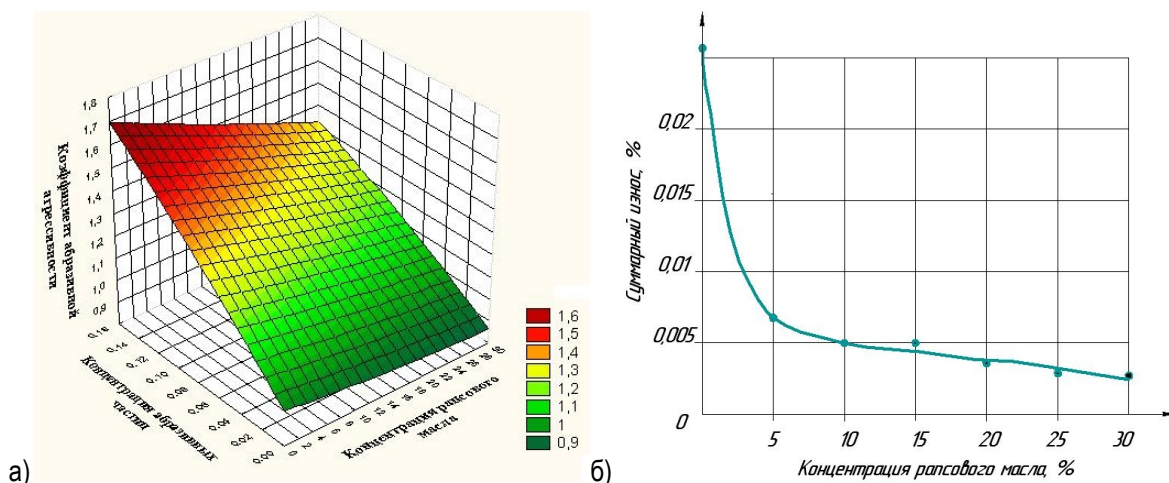


Рис. 2. Зависимость коэффициента абразивной агрессивности от содержания абразивных частиц и рапсового масла в смесевом минерально-растительном топливе (а) и зависимость суммарного износа сопряжения от концентрации рапсового масла в смесевом минерально-растительном топливе (б)

Испытания проводились на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 по следующей методике: частота вращения вала – 2000 мин⁻¹; нагрузка – 50 Н; время испытания – 20 мин. В каждом цикле испытаний использовались одни и те же шарики, которые выдерживались в испытуемой смазочной среде не менее одного часа.

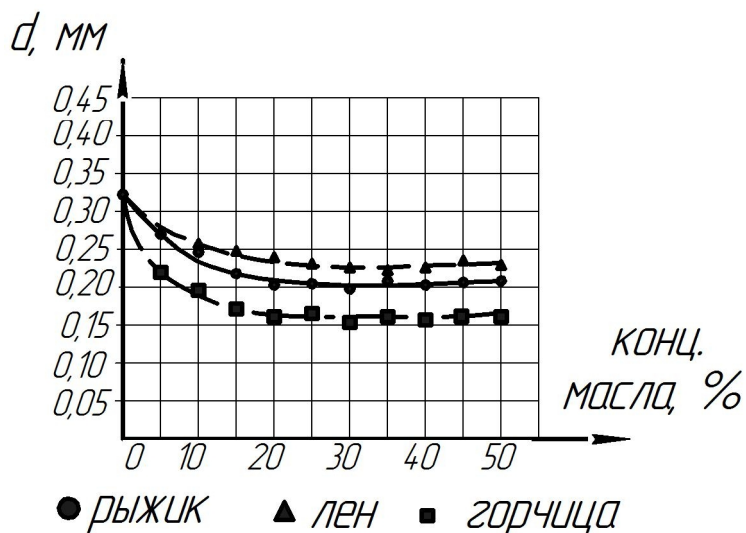


Рис. 3. Результаты испытаний смесевых топлив на четырехшариковой машине трения МАСТ-1

Из анализа результатов исследований, представленных графиком (рис. 3), можно сделать вывод, что все растительные компоненты оказывают положительное влияние на трибологические свойства смесевых минерально-растительных топлив, о чем говорит уменьшение диаметра пятна износа с увеличением концентрации растительного компонента. Предварительно также можно заключить, что с точки зрения повышения противоизносных свойств топлива наиболее рациональным является использование в качестве компонента смесевое топлива горчичного масла. Такие смеси показали наименьший диаметр пятна износа по сравнению с остальными. Однако эти данные требуют уточнения в процессе последующих испытаний на роликовой машине трения и в стендовых испытаниях с использованием ТНВД.

Анализ видов альтернативных моторных топлив и способов их использования в автотракторной технике показал, что наиболее рационально использование смесевых топлив на основе растительных компонентов. Они позволяют экономить нефтепродукты и одновременно улучшают режим трения прецизионных пар дизельной топливоподающей аппаратуры. Приведены теоретические предпосылки уменьшения абразивного изнашивания плунжерных пар при смазывании их смесевым минерально-растительным топливом на основе рапсового масла, содержащего поверхностно-активные вещества органического происхождения, а также результаты лабораторных исследований, подтверждающие их.

Поисковые исследования на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 показали также перспективность топлив на основе рыжикового, льняного и горчичного масел. При этом смесевые топлива на основе горчичного масла обладают наилучшими противоизносными свойствами.

Библиографический список

1. Федоренко, В. Ф. Состояние и развитие производства биотоплива / В. Ф. Федоренко, Ю. Л. Колчинский, Е. П. Шилова. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 130 с.
2. Уханов, А. П. Рапсовое биотопливо / А. П. Уханов, В. А. Рачкин, Д. А. Уханов. – Пенза : РИО ПГСХА, 2008. – 229 с.
3. Фомин, В. Н. Повышение технико-экономических показателей автотракторных дизелей, работающих на минерально-растительном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Фомин Вадим Николаевич. – Ульяновск : Башкирский ГАУ, 2011. – 18 с.
4. Аверьянов, А. С. Улучшение параметров топливоподачи дизеля при работе на смесевом рапсово-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Аверьянов А. С. – Пенза : ПГСХА, 2013. – 19 с.
5. Улюкина, Е. А. Улучшение эксплуатационных свойств современных и перспективных моторных топлив для сельскохозяйственной техники : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Улюкина Елена Анатольевна. – М. : МГАУ, 2012. – 33 с.
6. Ефимов, В. В. Обеспечение эксплуатационной надежности гидросистем сельскохозяйственной техники при использовании рапсового масла в качестве рабочей жидкости : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ефимов Владислав Викторович. – Саранск : МГУ им. Н. П. Огарева, 2001. – 18 с.
7. Зимин, А. Г. Очистка рапсового масла и улучшение его противоизносных свойств для использования в сельскохозяйственной технике : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Зимин Александр Геннадьевич. – Мичуринск : Мичуринский ГАУ, 2011. – 21 с.
8. Быченин, А. П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесового минерально-растительного топлива : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Быченин Александр Павлович. – Пенза : ПГСХА, 2007. – 172 с.
9. Ротанов, Е. Г. Снижение износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного смесового топлива : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Ротанов Евгений Геннадьевич. – Пенза : ПГСХА, 2012. – 19 с.
10. Голубев, В. А. Эффективность использования тракторного агрегата на горчично-минеральном топливе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Голубев Владимир Александрович. – Пенза : ПГСХА, 2012. – 21 с.