

Влияние свойств биотоплива на эффективность и надежность работы дизельного двигателя

Борис Митков, кандидат технических наук;

Валерий Юдовинский, кандидат технических наук;

Василий Митков, кандидат технических наук.

Таврический государственный агротехнологический университет

Сокращение мировых запасов нефти, следовательно, и продуктов ее переработки, а также ухудшение экологической ситуации ставит вопрос об использовании альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания. Одним из таких видов топлива является биодизель, применение которого позволит сократить потребление нефтяного топлива и уменьшить количество агрессивных выбросов в атмосферу.

Широкое применение нового вида топлива невозможно без проведения всестороннего, комплексного анализа по изучению влияния значений показателей биодизеля на надежность работы элементов топливной аппаратуры. А это в свою очередь влияет на технико-экономические и эксплуатационные показатели двигателя внутреннего сгорания.

На эффективность работы двигателя влияние оказывают многие параметры применяемого топлива, в частности: плотность, кг/м^3 ; кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$; фракционный и химический состав. Непосредственное влияние на качество распыла, величину цикловой подачи и на полноту сгорания оказывают вязкость (V) и плотность (ρ) топлива.

Нами была проведена сравнительная оценка влияния фракционного состава (плотность, вязкость) на качество распыливания топлива; а также химического состава (наличие активных углеводородных соединений) на износостойкость материалов деталей топливной аппаратуры и цилиндро-поршневой группы.

В качестве биодизеля использовалось биотопливо полученное по технологии [1] с использованием подсолнечного масла, значения которого соответствовали требованиям стандарта [2] и нефтяное топливо (ДСТУ 3868-99).

Качество распыливания оценивалось на приборе КИ-562 с установлением диаметра пятна распыливания на расстоянии 100 мм от форсунки (рис. 1).

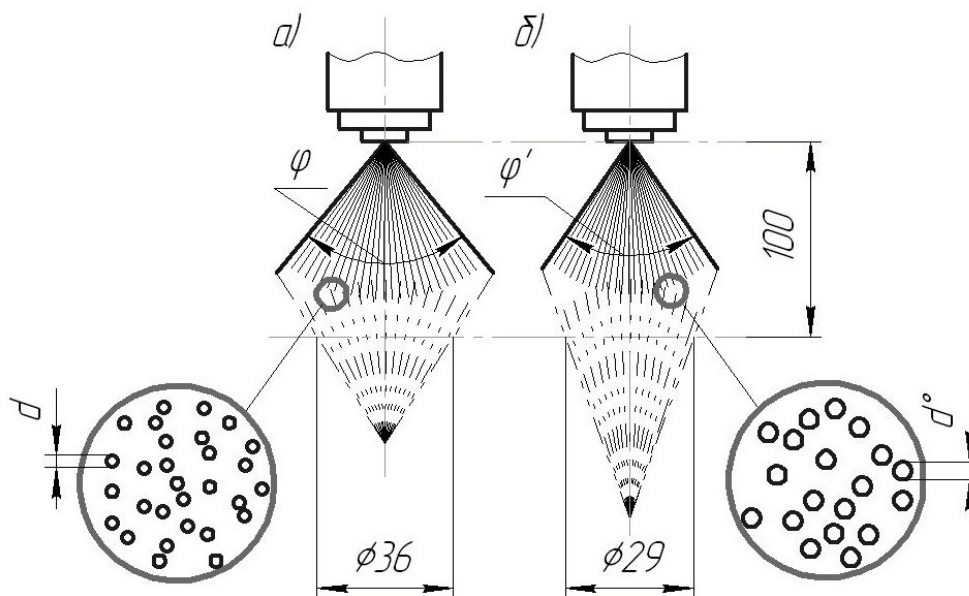


Рис. 1 – Распыл нефтяного топлива (а) и биотоплива (б)

а) нефтяное топливо с плотностью $\rho_{20} = 826 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 4,2 \text{ мм}^2/\text{с}$;

б) биодизель с плотностью $\rho_{20} = 877 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 7,2 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Угол раскрытия струи и диаметр пятна на биодизеле меньше ($\phi' < \phi$) соответственно $\text{Ø } 29 < \text{Ø } 36$, но зато его дальнобойность больше. Это объясняется повышенными значениями вязкости и плотности.

Для оценки тонкости распыливания топлива воспользуемся формулой Заутера [3], по которой определяется средний диаметр капли топлива:

$$D_{32} = E_1 \frac{d_c^{0,661}}{\mu_c^{0,532} \cdot [(\rho_{cp} - \rho_a) \cdot \rho_a]^{0,266}} \cdot \rho_{20}^{0,339} \cdot \sigma^{0,193} \cdot \nu_{20}^{0,147},$$

где $\mathring{A}_1 = \mathring{A} \cdot 2^{-0,266}$ - постоянная величина;

E – экспериментальный коэффициент, зависящий от конструкции форсунки и способа определения размеров капель, $E = 1,445$ [3];

d_c – диаметр соплового отверстия форсунки, м;

μ_c – коэффициент расхода форсунки, для современных форсунок, $\mu_c = 0,65$;

$\rho_{ср}$ – среднее давление впрыска топлива, Па;

ρ_v – давление воздуха в цилиндре перед подачей топлива, Па;

ρ_{20} – плотность топлива, Н/м³;

σ – поверхностное натяжение топлива. Н/м. Для нефтяного топлива $\sigma = 27 \cdot 10^{-3}$ Н/м, для биотоплива $\sigma = 31,4 \cdot 10^{-3}$ Н/м [4];

ν_{20} – кинематическая вязкость топлива, м²/с.

Определив по формуле диаметр капель распыливания биодизеля и нефтяного топлива, построена зависимость диаметра капли от кинематической вязкости (рис. 2).

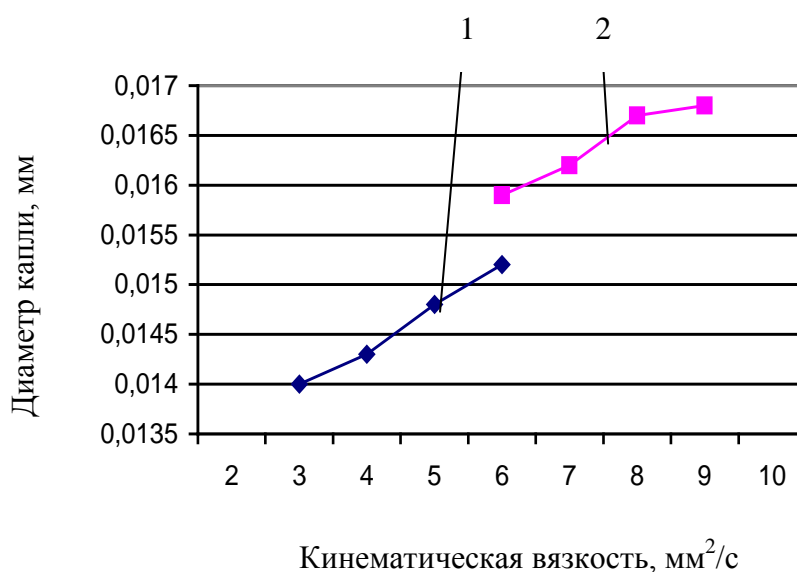


Рис. 2 – Влияние кинематической вязкости топлива на диаметр капли:

1 – нефтяное топливо; 2 – биотопливо.

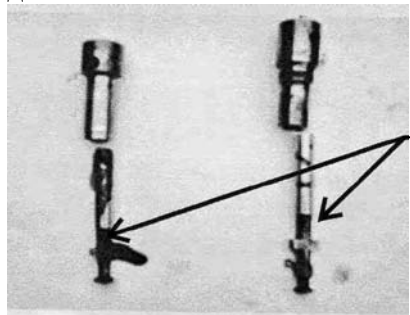
Из рисунка следует, что средний диаметр капли биотоплива на 13% больше чем у нефтяного и соответственно составляют $d_B = 0,0165$ мм, $d_H =$

0,0145 мм. Значение поверхностного натяжения у биотоплива на 14% больше, чем у нефтяного [4].

Таким образом, при работе форсунки на таком биотопливе ухудшается качество и однородность распыливания, увеличиваются отложения на распылителях, что приведет к замедлению процессов его испарения, окисления и сгорания. Это влечет к образованию отложений на стенках камеры сгорания, следовательно, быстрый выход двигателя из строя.

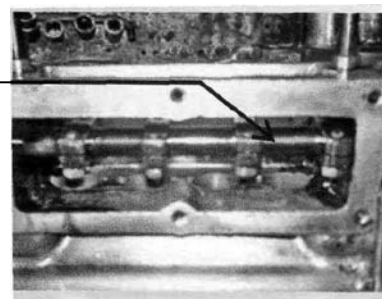
Кроме того, имеет место жировые отложения в каналах топливной аппаратуры, отложение полимеров на деталях топливных насосов, закоксованность отверстий форсунки, зависание иглы распылителя, заклинивания рейки топливных насосов (рис. 3). Все это приведет к уменьшению надежности и работоспособности дизельного двигателя.

Отложение полимеров на деталях топливных насосов



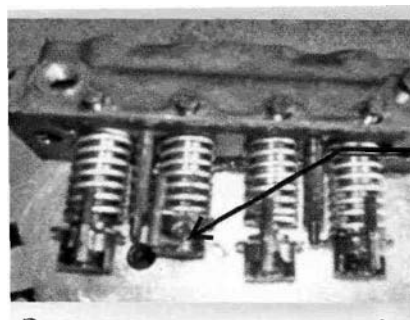
Полимеры на деталях

Заклинивание рейки топливных насосов



Заклинивание рейки

Заклинивание плунжеров топливных насосов



Заклиненная плунжерная пара

Заккоксовывание отверстий распылителя

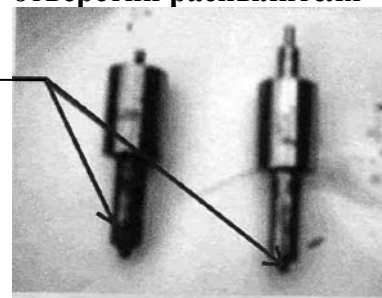


Рис. 3 – Следствия использования биодизеля

Известно [4], что низшая теплота сгорания у биодизеля составляет 37,5

МДж/кг, против 42,5 МДж/кг у нефтяного, т.е. на 12% меньше. Следовательно, применение такого биотоплива приведет к снижению мощности двигателя, его экономичности, а наличие в нем повышенного содержания глицерина, к нагарообразованию и дымности выхлопа.

В большинстве своем биотопливо отличается от топлива нефтяного происхождения своими химическими свойствами, которые оказывают основное влияние на организацию рабочего процесса двигателя и как следствие на интенсивность изнашивание деталей.

Влияние химического состава биодизеля на изменение поверхностных слоев деталей двигателя осуществлялось на металлах, из которых изготавливаются детали топливной аппаратуры и цилиндрико-поршневой группы.

Исследования базировались на триботехнических и химмотологических обоснованиях процессов, которые возникают в парах трения металлов.

Биотопливо на основе углеводов содержит различные виды меркаптанов (0,005%), которые снижают противоизносные свойства материалов вследствие их разложения с выделением свободного водорода, способного отсорбироваться на поверхности металлов, повышая их хрупкость [5]. Если принять за рабочую гипотезу, что причиной ускоренного износа пар трения, находящихся в среде биодизеля есть водородное насыщение их поверхностей, так как меркаптаны при разложении выделяют водород, то исходя из этого, представляется возможным раскрыть механизм взаимодействия конструкционных материалов с средой (рис. 4).

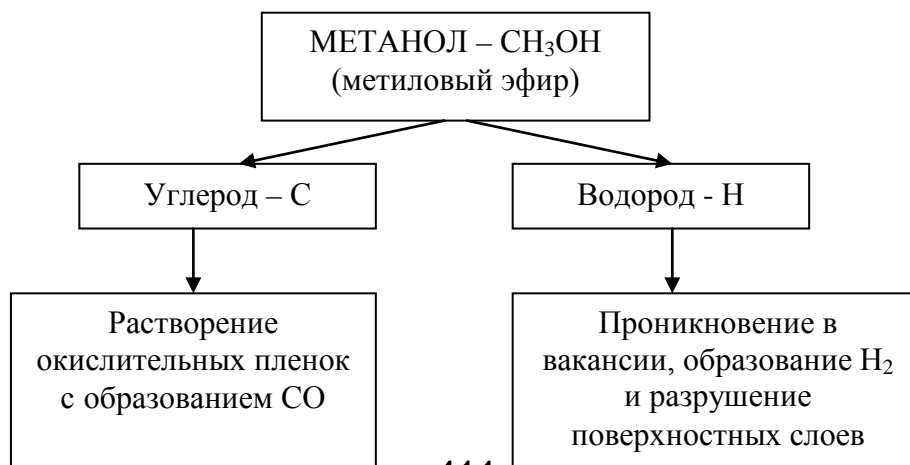




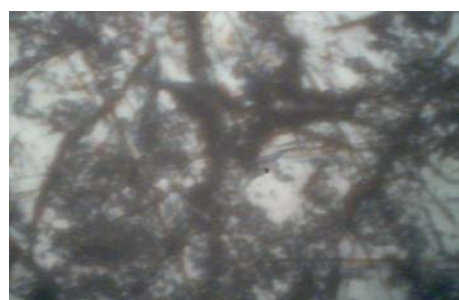
Рис. 4 – Схема влияния метанола на металлы-катализаторы.

Характерным для биодизеля является присутствие в нем большого количества метанола, который является агрессивным по отношению к металлам и резино-техническим изделиям. В метаноле на три молекулы углерода приходится восемь молекул водорода. При взаимодействии металла со средой в узлах трения протекает процесс выделения водорода и постепенный его переход в поверхностный пласт металла, например, конструкционной стали. При этом возникают некоторые типичные цепи физико-химических процессов, которые приводят к водородному износу. Началом этих цепей есть трибодеструкция и возникновение активных частичек, которыми есть радикалы, термодинамично неустойчивые соединения с двойными связями, которые легко создают новые химические соединения, как между собой, так и с поверхностью металла. Эти процессы могут протекать вследствие механо-динамического, термического, каталитического и электрохимического влияния металла при их взаимодействии с поверхностями трения (рис. 3).

Влияние биодизеля на изменение поверхностной структуры основных конструкционных черных металлов можно проследить на примере следующих материалов (рис. 5, рис. 6).

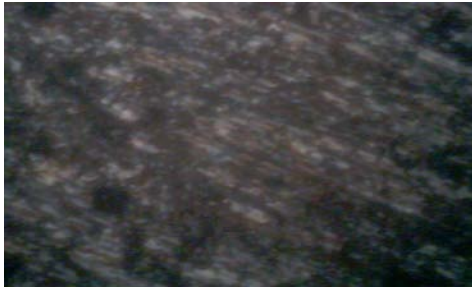


а)

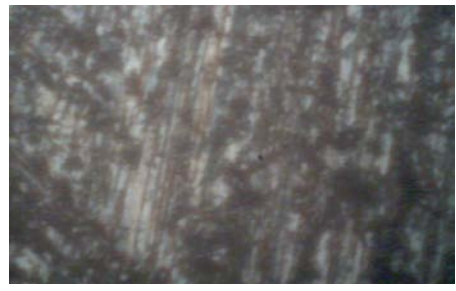


б)

Рис. 5 – Поведение поверхности серого чугуна СЧ20 ГОСТ 1412-85 при выдержки 56 часов (а) и 250 часов (б).



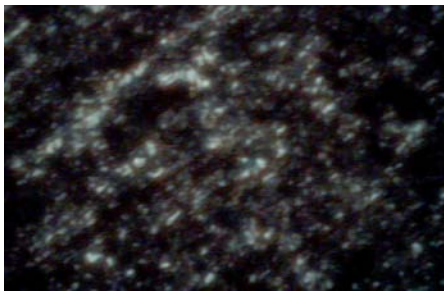
а)



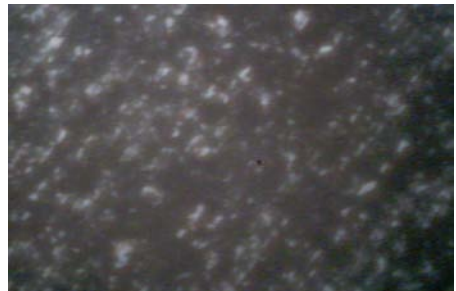
б)

Рис. 6 - Поведение поверхности стали 40X ГОСТУ 4543-81 при выдержки 56 часов (а) и 250 часов (б).

На поверхность алюминия метиловые эфиры влияют более интенсивно, чем на сталь в результате растворения поверхности и образования черного налета, который легко смывается. Это происходит в результате восстановления окисленной пленки алюминия углеродом, когда свободный водород диффундирует на поверхность где увеличивает его количество. Причем с увеличением времени нахождения в метиловом эфире, толщина налета окисленной пленки увеличивается (рис. 7).



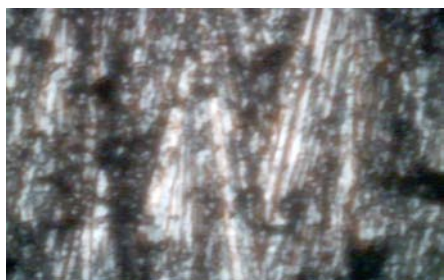
а)



б)

Рис. 7 - Поведение поверхности алюминия А0 ГОСТ 3549-85 при выдержки 56 часов (а) и 250 часов (б).

Воздействие эфиров на медь, аналогично воздействию на алюминий (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8 - Поведение поверхности красной меди МЗ ГОСТ850-81
при выдержки 56 часов (а) и 250 часов (б).

Аналогичные процессы наблюдаются и на поверхности других цветных металлов.

Следовательно применение биотоплива с более тяжелым фракционным составом (повышенной вязкостью, плотностью) приводит к снижению качества распыливания, смесеобразования, замедлению процессов окисления и, как следствие, ухудшению рабочего процесса за счет снижения полноты его сгорания.

Для улучшения качества распыливания биодизеля необходимо приблизить его физические свойства к свойствам нефтяного дизельного топлива, либо модернизировать систему впрыска топлива.

Топливо, полученное на основе распылительных масел с добавлением метилового эфира, вызывает разрушение поверхностных слоев разных материалов:

- цветные металлы (алюминий, медь), а также их сплавы сильно подвержены влиянию метиловых эфиров;
- из черных металлов наибольшую чувствительность к метиловым эфирам имеют чугуны с феритно-металлической основой;
- наличие хрома в стали в пределах 1-3%, являющийся катализатором водородного охрупчивания, повышает чувствительность таких сталей к метиловым эфирам.

Таким образом, для выдачи рекомендаций по влиянию биодизеля, на работу ДВС необходимо проведение полнометражных ресурсных испытаний.

Выводы:

1. Работа двигателя на смеси растительного масла и нефтяного топлива будет создавать ряд проблем: слабая испаряемость, неполное сгорание, закоксовывание распылительных форсунок, повышенное

нагарообразование и потеря подвижности поршневых колец, более быстрое ухудшение качества масла в результате его полимеризации.

2. Применение биодизеля с повышенной вязкостью приведет к снижению экономичности и мощности двигателя за счет неполного сгорания и увеличит дымность отработанных газов.

Литература:

1. Грабов Л. Сучасні технології та комплект обладнання для одержання біодизельного палива з ріпаку: Л. Грабов, В. Мерщій, Т. Грабова / Пропозиція, 11/2002, с. 86-87.
2. ASTM, 2003; DINEN, 2003.
3. Лышевский А.С. Процессы распыливания топлив дизельными форсунками. – М.: Машиностроение, 1963. – 180 с.
4. Стандарт Німеччини DIN51606.
5. Защита от водородного износа в узлах трения / Под ред. А.А. Полякова. – М.: Машиностроение, 1980. – 135 с.