

УДК 62-634.2

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТИЛОВОГО ЭФИРА РАПСОВОГО МАСЛА  
НА ХИММОТОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА****С.А. КОЛТУНОВА, канд. техн. наук, доц. С.М. ТКАЧЕВ,  
канд. хим. наук, доц. С.В. ПОКРОВСКАЯ, Ю.А. БУЛАВКА, А.Ю. ГРИШАНОВА**

*Рассмотрены пути улучшения качества нефтяных топлив, создания новых видов нефтепродуктов, отвечающих современным требованиям экологии и двигателестроения. Показано, что одним из наиболее экономичных и перспективных способов расширения ассортимента дизельных топлив является введение в них продуктов, полученных из растительного сырья. Проанализированы преимущества биодизельного топлива перед нефтяным. Приведена схема химической реакции трансэтерификации рапсового масла метиловым спиртом.*

*Изучено влияние метилового эфира рапсового масла на показатели качества дизельного топлива. Установлено, что добавка метилового эфира рапсового масла (МЭРМ) улучшает экологические и эксплуатационные показатели: плотность, вязкость, температуру помутнения, температуру застывания, предельную температуру фильтруемости. Доказано, что МЭРМ обладает хорошими смазывающими свойствами.*

*Выполнение экспериментальных исследований позволило разработать технологические рекомендации по улучшению качества дизельного топлива путем вовлечения в него метилового эфира рапсового масла в концентрации 5...10 % об.*

**Введение.** Производство экологически чистых топлив является актуальной проблемой, признанной потребителями как способ улучшения здоровья людей и непосредственного воздействия на их качество жизни. Улучшение экологической обстановки является основополагающим принципом отношений между потребителями и промышленностью.

Известно, что 80 % механической энергии, которую использует в своей деятельности человек, вырабатывается двигателями внутреннего сгорания. Они являются основными потребителями топлив нефтяного происхождения, геологические ресурсы которых в отдельных регионах мира весьма ограничены. Ужесточение норм выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизельных двигателей, а также ограничение эмиссии диоксида углерода заставляют большинство стран мирового сообщества искать пути уменьшения опасности воздействия тепловых двигателей на окружающую среду. В последнее время все более широкое распространение получают альтернативные виды топлив из возобновляемого сырья растительного происхождения. К ним относятся растительные масла (рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмовое, арахисовое и др.) и их производные.

На протяжении последних 20 лет не только в специализированных лабораториях и исследовательских центрах крупных компаний, но и на правительственном уровне активно культивируется идея использования растительных масел и животных жиров в качестве основы для создания возобновляемого, экологически безопасного топлива для дизельных двигателей – биодизельного топлива (биодизеля).

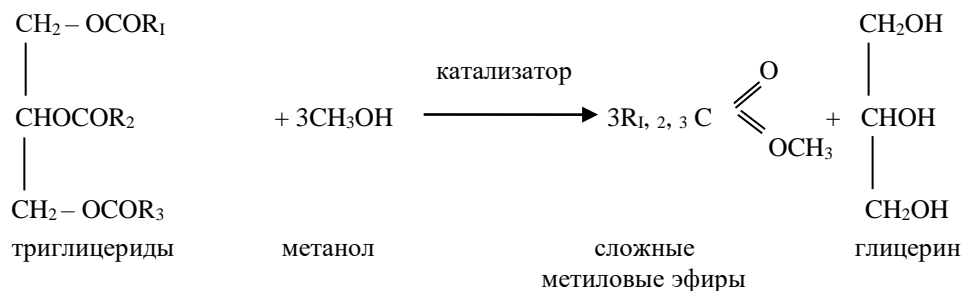
Биодизель – это альтернативное топливо, которое производится из растительных масел. Главным преимуществом биодизельного топлива, которое делает его «привлекательным» с точки зрения замены существующих видов топлива, является его экологическая чистота. В отличие от топлива, произведенного из нефти, биодизель при попадании в почву или воду подвергается полному биологическому распаду, а уровень выбросов углекислого газа в атмосферу при сгорании биодизеля значительно ниже по сравнению с обычным дизельным топливом. Кроме того, использование биодизеля позволяет его потребителям не зависеть от мировых цен на нефть и нефтепродукты.

С современной точки зрения, в качестве дизельного топлива оптимальным по доступности, стоимости, физико-химическим и экологическим характеристикам является рапсовое масло. Рапс – это масличная и кормовая культура семейства крестоцветных. Его возделывают с незапамятных времен; в литературных источниках он упоминается еще за несколько тысячелетий до нашей эры. Ведущие производители сегодня – Китай, Канада и Индия.

Понятие биодизель сегодня несколько размыто и не имеет четкого определения. Первоначально биодизелем называли смесь минерального дизельного топлива с растительным маслом (преимущественно с рапсовым). Такие смеси готовили в соотношении 5...30 % рапсового масла и 95...70 % минерального дизтоплива. Наличие глицерина, в данном топливе, приводило к образованию нагара на распылителях форсунок, закоксовыванию поршневых колец и прогоранию клапанов двигателя, что быстро выводило его из строя (именно поэтому некоторые считают, что биодизель нельзя использовать в чистом виде, а только как добавку в минеральное дизельное топливо).

**Производство биодизельного топлива.** Применение процесса переэтерификации растительного масла метиловым или этиловым спиртом дало возможность получить эфиры масляных кислот. Эти эфиры оказались на удивление похожими по своим физико-химическим показателям на минеральное дизельное топливо и вполне пригодны для применения в качестве горючего в двигателях внутреннего сгорания, в том числе и в чистом виде. Эфиры отлично смешиваются с минеральным дизельным топливом в любых пропорциях. Именно их можно назвать настоящим биодизельным топливом (отвечает Европейскому стандарту EN 14214; американскому стандарту ASTM, 2003).

Схема реакции переэтерификации рапсового масла метиловым спиртом:



Сырьем для производства биодизеля, как часто называют биодизельное топливо, могут быть различные растительные масла: рапсовое, соевое, арахисовое, пальмовое, отработанные подсолнечное и оливковое масла (использованные, например, при приготовлении пищи), а также животные жиры.

Молекулы жира состоят из так называемых триглицеридов – соединений трехосновного спирта (глицерина) с тремя жирными кислотами.

Для получения метилового эфира к семи массовым единицам растительного масла добавляется одна массовая единица метанола (т.е. соблюдается соотношение 7:1). Все это смешивается в реакторных колоннах с добавлением катализатора. В результате химической реакции образуется в первую очередь желаемый метиловый эфир, а также побочный продукт – глицерин, широко используемый в фармацевтической и лакокрасочной отраслях промышленности [2].

Обладая примерно одинаковым с минеральным дизельным топливом энергетическим потенциалом, биодизель имеет ряд существенных преимуществ [3]:

- *главное преимущество биодизеля* – это возобновляемый энергетический источник, в то время как запасы нефти практически невозполнимы;

- *растительное происхождение.* Биодизель не имеет запаха нефтепродуктов, в том числе особо вредных для человека ароматических углеводородов. Он обладает приятным запахом попкорна или жареного картофеля, и изготавливается из масел, сырьем для которых служат растения, улучшающие структурный и химический состав почв в системах севооборота;

- *экология.* Сильной стороной биодизеля также является то, что он при сгорании выбрасывает в атмосферу гораздо меньше вредных газов, в сравнении с минеральным аналогом почти не содержит серы (0,005...0,05 % масс, тогда как минеральное дизельное топливо 0,2...0,5 % масс). При этом на 90 % снижается риск раковых заболеваний. За счет того, что биодизель содержит 1 % кислорода, количество углекислого газа уменьшается на 80 %, угарного газа – на 35 %, аэрозолей (твердых частиц размером менее 10 микрон) – на 32 %. Очевидны преимущества биодизеля по показателям продуктов сгорания: монооксида углерода, углеводородов, остаточных частиц и сажи;

- *биологическая безвредность.* По сравнению с минеральным топливом, 1 л которого способен загрязнить 1 млн л питьевой воды и привести к гибели водной флоры и фауны, биодизель, при попадании в воду не причиняет вреда ни растениям, ни животным. Кроме того, он подвергается практически полному биологическому распаду. В почве или в воде микроорганизмы за месяц перерабатывают 99 % биодизеля, что позволяет говорить о минимизации загрязнения рек и озер при переводе водного транспорта на альтернативное топливо;

- *меньше выбросов CO<sub>2</sub>.* При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла, за весь период его жизни. Тем не менее следует заметить, что назвать биодизель абсолютно экологически чистым топливом было бы неверно. Он дает меньшее количество выбросов углекислого газа в атмосферу, чем обычное дизтопливо, но все-таки это не нулевой выброс;

- *хорошие смазывающие характеристики.* Известно, что минеральное дизельное топливо при удалении из него сернистых соединений теряет свою смазывающую способность. Биодизель же, несмотря на значительно меньшее содержание серы, характеризуется хорошими смазочными свойствами. Это обуславливается его химическим составом и содержанием в нем кислорода;

- *увеличение срока службы двигателя.* При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60 %;

- *высокая температура воспламенения.* Для биодизеля ее значение превышает 150 °С, что позволяет назвать биогорючее относительно безопасным веществом. Тем не менее это не означает, что к нему можно относиться с халатностью;

- *получение глицерина.* Глицерин можно использовать по многим направлениям. Очищенный глицерин используют для производства технических моющих средств. После глубокой очистки получают фармакопейный глицерин. Путем добавления фосфорной кислоты к техническому глицерину производятся фосфорные удобрения, которые используются для нужд сельского хозяйства;

Биодизельное топливо получило широкое распространение во многих странах мира: Германии, Австрии, Чехии, Франции, Италии, Швеции, США. Специалисты по моторной технике считают биодизель лучшим альтернативным топливом для двигателей с самовоспламенением.

**Экспериментальные исследования и обсуждение результатов.** В качестве объекта исследования взято дизельное топливо (ДТ) производства ОАО «Нафтан» (фр.180...360 °С, содержание серы менее 50 ppm.) и метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ). В ходе эксперимента был приготовлен ряд образцов. В данной работе приведены результаты исследований трех из них:

образец 1 – ДТ + 5% об. МЭРМ;

образец 2 – ДТ + 10% об. МЭРМ;

образец 3 – ДТ + 30% об. МЭРМ.

Результаты изменения показателей качества дизельного топлива при добавлении метилового эфира рапсового масла приведены в таблице.

Влияние метилового эфира рапсового масла на показатели качества дизельного топлива

Показатель	Требования по ТНПА*	МЭРМ	ДТ	Обр. 1	Обр. 2	Обр. 3	Методы испытаний
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	820...845	884	836	837	841	848	СТБ ИСО 3675-2003
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, в пределах	2,00...4,50	4,47	2,63	2,71	2,87	3,07	СТБ ИСО 3104-2003
Цетановое число, не менее	51	51	51	59	61	63	СТБ ИСО 5165-2002
Температура помутнения, °С, не выше	-5	-	-5	-7	-7	-7	СТБ ЕН 23015-2002
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-15	-	-6	-8	-9	-12	СТБ ЕН 116-2002
Температура застывания, °С, не выше	-25	ниже -15	-10	-18	-20	-20	ГОСТ 20287 доп. пункт 5.4
Скорректированный диаметр пятна износа, смазывающей способность, мкм, не более	460	-	437	149	167	170	СТБ ИСО 12156-1-2003

ТНПА\* – технологический нормативный правовой акт

Известно, что плотность и вязкость являются важными химмотологическими нормируемыми показателями, определяющими процессы испарения и смесеобразования в дизельном двигателе, так как от них зависит форма и строение топливного факела, размеры образующихся капель, дальность проникновения капель топлива в камеру сгорания. Более низкая плотность и вязкость обеспечивают лучшее распыливание топлива. С повышением указанных показателей качества увеличивается диаметр капель и ухудшается их полнота сгорания. В результате увеличивается удельный расход топлива, растет дымность отработавших газов. От вязкости зависит износ плунжерных пар. Нижний предел вязкости топлива, при котором обеспечивается его высокая смазывающая способность, зависит от конструктивных особенностей топливной аппаратуры и условий ее эксплуатации. Изменение плотности и вязкости дизельного топлива приводит к изменению мощности двигателя, соответственно, содержания вредных веществ в отработавших газах и расхода топлива. Поэтому для оптимизации эксплуатационных характеристик двигателя и сокращения выброса вредных веществ в атмосферу, максимальная и минимальная величины плотности дизельного топлива должны задаваться в довольно узких пределах.

Из таблицы видно, что при добавлении МЭРМ в количестве от 5 до 30 % об. плотность возрастает от 836 до 848 кг/м<sup>3</sup>, а вязкость с 2,63 до 3,07 мм<sup>2</sup>/с. Добавление МЭРМ в количестве более 10 % об.

не целесообразно, так как значительных изменений в показателях качества ДТ не наблюдается, а при добавлении 30 % об. плотность ДТ и вовсе выходит за пределы нормы (до 845 кг/м).

Повышение цетанового числа приводит к значительному снижению уровня шума двигателя. Из приведенных в таблице данных видно, что уже при добавлении МЭРМ в количестве 5 % об. цетановое число топлива увеличивается до 59 единиц, благоприятно влияя на работу двигателя.

Увеличение цетанового числа оказывает значительное влияние на снижение содержания окислов азота в отработавших газах, особенно при низких нагрузках, а также на содержание углеводов и оксида углерода (II). При увеличении цетанового числа с 50 до 58 единиц выбросы последних снижаются на 26 % [2].

Наиболее важными свойствами дизельных топлив, обеспечивающими нормальную работу двигателя и топливоподающей системы при отрицательных температурах, являются: температура помутнения, предельная температура фильтруемости, температура застывания. Повышение содержания парафиновых углеводов, особенно нормального строения, – одна из причин отклонения этих показателей от требований стандарта EN 590 на экологически чистые дизельные топлива.

Результаты эксперимента показывают, что низкотемпературные показатели дизельного топлива при добавлении МЭРМ значительно улучшаются. Следовательно, при получении товарных дизельных топлив в соответствии с требованиями нормативных документов требуется вовлечение меньшего количества депрессорных и депрессорно-диспергирующих присадок в дизельное топливо.

В литературных источниках [4, 5] экспериментально доказана зависимость смазывающей способности дизельных топлив от содержания серы: чем больше серы, тем лучше смазывающие свойства, и наоборот, меньшее содержание серы приводит к быстрому износу деталей машин. В биодизельном топливе содержание серы незначительно (менее 0,001 % масс.). Исследование образцов 1...3 по методу ISO 12156 на приборе HFRR показало, что при добавлении МЭРМ противоизносные свойства дизельного топлива улучшаются, (скорректированный диаметр следа изнашивания снижается с 437 до 149 мкм). Следовательно, можно прогнозировать, что МЭРМ обладает хорошими смазывающими свойствами и в дизельном топливе может частично выполнять функцию противоизносной присадки.

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что при введении МЭРМ в дизельное топливо в количестве до 10 % об.:

- а) низкотемпературные характеристики топлива понижаются, что улучшает его транспортабельность, прокачиваемость и фильтруемость при низких температурах;
- б) цетановое число повышается, что обуславливает полноту сгорания топлива, благоприятно влияя на работу двигателя;
- в) значения плотности и вязкости соответствуют требованиям предъявляемым к дизельным топливам, что не нарушает работу двигателя (удельную пропускную способность фильтра тонкой очистки, работоспособность топливopодкачивающего насоса, цикловую подачу топливного насоса, затраты энергии на перекачку и др.);
- г) смазывающие свойства улучшаются.

Выполненные экспериментальные исследования позволили разработать технологические рекомендации по улучшению качества дизельного топлива путем вовлечения метилового эфира рапсового масла в концентрациях до 10 % об.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Митусова, Т.Н. Дизельные и биодизельные топлива / Т.Н. Митусова, М.В. Калинина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2004. – № 10. – С. 11 – 14.
2. Праманик, Т. Биодизельное топливо – чистое топливо будущего /Т. Праманик, С. Трипати // Нефтегазовые технологии. – 2005. – № 6. – С. 65 – 70.
3. [Internet ресурс]: <http://www.biodiesel.com.ua/1999/10/31>.
4. Колтунова, С.А. Исследование эксплуатационных свойств экологически чистых дизельных топлив / С.А. Колтунова, С.В. Покровская // Труды молодых специалистов Полоцк. гос. ун-та. – 2004. – Вып. 7. Прикладные науки. – С. 105 – 107.
5. Колтунова, С.А. Пути улучшения эколого-энергетических показателей дизельных двигателей / С.А. Колтунова, С.В. Покровская // Региональные проблемы экологии: пути решения: тез. докл. III Междунар. эколог. симпоз. в городе Полоцке: в 2-х т. Т. I. – Полоцк: ПГУ, 2006. – С. 53 – 54.

Поступила 01.06.2007