

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ДИЗЕЛЬНЫЕ ТОПЛИВА

Виктор Полищук, Валерий Дубровин, Алексей Полищук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

**Аннотация.** Обоснована необходимость поиска топлив, способных заменить нефтяное дизельное. Проанализированы аналоги дизельного топлива, которые производятся из ископаемого и возобновляемого сырья. Рассмотрены их преимущества и недостатки. Проведена оценка технологий их производства и использования.

**Ключевые слова:** диметиловый эфир, синтетическое дизельное топливо, E-diesel, газодизельный двигатель, смесевые топлива, растительное масло, биодизель, метиловый эфир, смесевые топлива.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поскольку разведанных запасов нефти осталось на 45 лет добычи [1], перед человечеством встала насущная необходимость поиска заменителей нефтяных топлив: бензина, дизельного топлива, керосина. Для сельскохозяйственного производства важным является поставка дизельного топлива, ведь большинство сельхозтехники имеет дизельные двигатели. Особенно это актуально для нашего государства, ведь Украина обладает огромным богатством - землей. Однако для получения урожая с этой земли, ее необходимо обрабатывать. На сегодня для сельскохозяйственных работ Украине ежегодно необходимо иметь около 1,9 млн. тонн дизельного топлива и 620 тыс. тонн бензина, которые производятся с 4,5 млн. тонн нефти, преимущественно импортной [2]. Цена на нефть стабильно находится на высоком уровне (на конец мая 2012 г. составляет \$90-106 за ба-рель).

Украина способна обеспечить себя нефтью собственной добычи лишь на 20% [3]. Остальную часть необходимо импортировать, причем по высоким ценам. Поэтому целесообразно по возможности максимально применять топлива, которые могли бы заменить нефтяное дизельное топливо.

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вопросы исследования возможности применения дизельных топлив, альтернативных нефтяному, освещены в работах [2; 4-26].

Конструктор дизельного двигателя Рудольф Дизель впервые продемонстрировал свое изобретение на международной выставке в Париже работающим не на нефтяном топливе, а на арахисовом масле. Р. Дизель считал, что топлива для его двигателя будут получаться именно из возобновляемых ресурсов. Нефтяное дизельное топливо стало активно применяться в дизельных двигателях уже после смерти изобретателя. С тех пор развитие конструкций дизельных двигателей происходило в направлении применения именно нефтяных топлив. Возможность применения растительных масел в качестве топлива, параметры которых существенно отличаются от нефтяного дизельного топлива, рассматривались в работе [4]. Влияние чистых растительных масел и их смеси с нефтяным дизельным топливом на эффективность работы дизельных двигателей и их долговечность исследована в работе [5]. Для использования в качестве альтернативы нефтяного дизельного топлива растительные масла определенным образом необходимо подготовить. Именно этому вопросу посвящена работа [6]. Проблемы с использованием растительных масел в качестве топлива для дизельных дви-

гателей привели к необходимости поиска топлива, которое по своим свойствам максимально бы приближалось к нефтяному дизельному. Одним из таких топлив, которое производится из возобновляемых ресурсов, на сегодняшний день является биодизель. Технологии и технические средства производства биодизеля рассматриваются в работах [2; 7-16]. Перспективы применения дизельных биотоплив в народном хозяйстве и проблемы развития дизельного биотоплива в Украине рассмотрены в работах [4; 17; 18]. Состояние вопроса производства дизельного топлива в странах ЕС и странах-соседях Украины освещены в [5; 19-21]. Экономические показатели производства и использования дизельных биотоплив оценены в работе [22]. Сырьевая база для производства биодизеля детально рассмотрена в работе [23]. Альтернативное дизельное топливо можно получать также из минеральных ресурсов, в частности угля, мировых запасов которого при нынешних темпах добычи хватит более чем на 200 лет (в Украине - более 600 лет). В 20-х годах XX в. немецкие ученые Ганс Фишер и Франц Тропш разработали технологию производства синтетического топлива из углеродсодержащего сырья, которое интенсивно использовали фашистский режим в Германии во время Второй мировой войны и режим апартеида Южно-Африканской республики после введения против нее торгового эмбарго ООН. Производство жидкого синтетического топлива из угля методом деструктивной гидрогенизации получило применение в промышленной практике 50-х годов. Однако процессы отличались высокой металлоемкостью и сложным аппаратным оформлением, а высокое давление (25-70 МПа), применявшийся в этих процессах, приводило к большому расходу водорода. Поэтому после появления в 50-60-х годах на мировом рынке относительно дешевой нефти производства синтетического топлива были остановлены. В настоящее время в связи с постоянным ростом цен на нефть интерес к производству синтетического жидкого топлива из угля возобновляется. Технологии производства синтетических дизельных топлив и их характеристики представлены в работах [7; 24-26].

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В связи с ограниченностью ископаемых ресурсов идет поиск альтернативных источников энергии, в том числе и заменителей нефтяного дизельного топлива. Растет количество субъектов хозяйствования, которые интересуются производством и применением топлив, альтернативным нефтяному дизельному. Вместе с тем, этот вопрос еще недостаточно освещен в литературе. Большинство литературных источников посвящено описанию характеристик и технологий производства лишь одного вида альтернативного дизельного топлива. Поэтому существует потребность анализа разработок прошлых лет по альтернативным топливам, которые не были использованы или потеряли актуальность в связи с низкой ценой на нефть в те времена, и новых исследований наших дней, и создание небольшого, но информативного обзора существующих в настоящее время альтернативных дизельных топлив, который был бы доступен всем желающим ознакомиться с современными достижениями в области альтернативной энергетики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Альтернативные нефтяному дизельному топлива можно производить как с ископаемого сырья (целесообразно в том случае, если его разведанные запасы довольно большие или когда это сырье в качестве энергоносителя не очень эффективно), так и из возобновляемого.

К дизельным топливам, которые производятся с ископаемого сырья, принадлежат синтетическое дизельное топливо и диметиловый эфир, с возобновляемого - растительное масло и биодизель (следует отметить, что синтетическое дизельное топливо и диметиловый эфир можно также изготавливать из возобновляемого сырья, однако на сегодняшний день себестоимость такого топлива несколько выше, чем при производстве его из ископаемых топлив). Современные дизельные двигатели могут также работать на смесевых топливах, сырьем для производства которых есть как ископаемое, так и возобновляемое сырье.

Синтетическое дизельное топливо получается из твердого ископаемого топлива (например, угля и горючих сланцев) и биомассы по методу Фишера-Тропша или через промежуточное получения метанола [7].

Сначала методом газификации и пиролиза твердого топлива производится генераторный или пиролизный газы, из которых путем очистки от сернистых и азотистых соединений получается синтез-газ, содержание которого в газовой смеси составляет около 85%. Синтез ведут в присутствии таких катализаторов: кобальт-торий-магниевого, осажденного на кизельгуре; железо-медного с различными добавками; сплавного железного.

Теоретический выход углеводородов при полном преобразовании СО составляет 200 г/м<sup>3</sup> газа [7]. Практический выход составляет до 85% от теоретического [2].

Существующие мощности по производству синтетических моторных топлив через промежуточное получения метанола, как правило, базируются на традиционных технологиях двух- и более стадийных процессов, при которых на первой, самой сложной и дорогой стадии, осуществляется паровая, пароклородная или уголекислотная конверсия метана в присутствии катализатора при температурах 700-900°C и давлении 2-3 МПа. Происходит это в высокотемпературных трубчатых печах с дорогой аустенитной стали. Процесс проходит с высоким потреблением тепла. Если добавить к этому энергозатраты на производство кислорода и паров, то уже первая стадия получается довольно энергоемкой. Полученный таким образом синтез-газ после охлаждения и очистки сжимается до 8-30 МПа, что опять же связано с высоким энергопотреблением. На второй стадии осуществляется конверсия полученного синтез-газа в метанол в каталитических реакторах или проводится процесс Фишера-Тропша с получением моторных топлив дизельной группы. Как правило, после первой стадии получается практически чистый синтез-газ, что есть, казалось бы, бесспорным преимуществом, однако, использовать эти преимущества на практике синтеза достаточно сложно. Это связано с тем, что каталитический процесс синтеза метанола связан с исключительно высоким тепловыделением, при котором практически невозможно отве-

сти тепло существующими способами и обеспечить равномерное распределение температур во всем объеме реактора. Это необходимо для достижения высокой степени селективности конверсии с целью получения чистого продукта. На практике приходится ограничиваться степенью конверсии за один проход на уровне до 7-12% и вводить многообразную рециркуляцию частично отработанного синтез-газа, что, в свою очередь, опять же связано с дополнительными энергозатратами. Но и на этом проблемы не заканчиваются. Еще одной статьей существенных затрат энергии является ректификация, поскольку метанол, получаемый из реакторов, содержит довольно большое количество примесей. Поэтому подобные технологии применяются только в случае очень больших производств, где становится оправданной утилизация тепловых потерь для покрытия высоких энергозатрат и снижения себестоимости получаемых продуктов. Существующие сегодня и вновь создаваемые стационарные производства имеют производительность 0,5 - 1,0 млн. т/год [27].

Следует отметить, что использование в классическом варианте процесса Фишера-Тропша для производства моторных топлив так и не позволило сделать его конкурентоспособным даже при высокой стоимости нефти. Для снижения себестоимости производства наиболее энергозатратную стадию получения синтез-газа проводят в химическом реакторе сжатия (ХРС), который представляет собой модифицированный дизельный двигатель. Данная технология реализована в установках "Синтоп".

Себестоимость производства синтетического дизельного топлива из природного газа (через конверсию его в метанол) стоимостью \$40/тыс. м<sup>3</sup> на установках "Синтоп" составляет \$0,21/л при производительности установки производства метанола 5000 т/год и 0,16 \$/л при производительности установки производства метанола 20000 т/год [27].

Недостатком синтетического дизельного топлива является высокое содержание ненасыщенных углеводородов (олефинов), которые быстро распадаются с образованием смол. Поэтому, для практического использования такое топливо смешивают с дистилляторными нефтяными топливами.

Диметиловый эфир (ДМЭ) представляет собой инертный газ, который сжижается при небольшом давлении. ДМЭ в сжиженном виде напоминает воду. Он хорошо распыляется, что приводит к эффективному сгоранию топлива; имеет высокое цетановое число (55-60), что снижает период задержки возгорания; благодаря высокому содержанию кислорода (до 35%) хорошо сгорает, что обуславливает небольшой уровень выбросов твердых частиц и окислов азота; поскольку практически не содержит серы, то уровень выбросов ее оксидов очень низкий; имеет хорошие пусковые характеристики в холодное время.

Существенным недостатком ДМЭ, который сдерживает его применения, является меньшая теплота сгорания (24,8 МДж/кг против 42,5 МДж/кг в минерального дизельного топлива) и меньшая плотность, что приводит к существенному увеличению объемного расхода диметилового эфира и снижению мощности двигателя. Кроме того, низкая кинематическая вязкость обуславливает склонность ДМЭ к вытеканию. Кроме того, ДМЭ имеет плохие смазывающие свойства а также является пожароопасным (температура вспышки составляет  $-41^{\circ}\text{C}$ , смесь с воздухом взрывоопасная). Поскольку ДМЭ – сильный растворитель для большинства резиновых изделий, существует проблема уплотнений. Недостатком есть и то, что ДМЭ является слабым наркотиком. Это может создать существенные проблемы при его утечке в закрытом ограниченном пространстве, например, в случае аварии автомобиля, работающего на ДМЭ, в тоннеле [7].

Существуют отработанный (через получения метанола), а также более эффективный новый (через получения синтез-газа) технологические способы массового производства ДМЭ с природного газа. ДМЭ может также производиться из каменного угля, углеродсодержащих продуктов (битумов), а также биомассы. При производстве ДМЭ из твердого ископаемого топлива и биомассы их сначала путем газификации с последующей очисткой конвертируют в синтез газ (смесь угарного газа и водорода), из которого путем каталитического синтеза получают диметиловый эфир.

Применение ДМЭ как топлива предусматривает переработку системы питания (установку газобалонного оборудования, увеличение объемной подачи топливным насосом, корректировку смесеобразования, герметизацию трубопроводов). В настоящее время разработкой двигателей, которые могут работать на ДМЭ, занимаются фирмы КАМАЗ, Volvo, Nissan, китайская компания Shanghai Automotive.

Вместе с тем, существенным недостатком ДМЭ, который сдерживает его применения, является меньшая теплота сгорания (24,8 МДж/кг против 42,5 МДж/кг в нефтяного дизтоплива), что приводит к существенному увеличению объемного расхода ДМЭ и снижению мощности двигателя. Кроме того, ДМЭ имеет плохие смазывающие свойства. Он является сильным растворителем для большинства резиновых изделий, поэтому существует проблема уплотнения [7].

Себестоимость производства диметилового эфира зависит от стоимости сырья, технологии его получения и производительности установки. Так, при производстве ДМЭ с природного газа (через конверсию его в метанол) стоимостью \$40/тыс. м<sup>3</sup>, его себестоимость составляет 204 \$/т при производительности установки производства метанола 5000 т/год и 150 \$/т при производительности установки производства метанола 20000 т/год [27] (себестоимость производства нефтяного дизельного топлива в Российской Федерации при цене нефти 12\$/баррель составляет 370 \$/т, то есть 4 грн/л [28], в Украине в середине 2008 г. этот показатель составлял 7 грн/л [29]).

Растительные масла могут использоваться как жидкое биотопливо для дизельных двигателей в переработанной или переработанной к так называемым эфирам формам.

Теплота сгорания растительного масла составляет 37 МДж/кг. Она хоть и несколько ниже за теплоту сгорания нефтяного дизтоплива, однако значительно превышает в этом показателе ДМЭ. Однако плотность растительных масел достаточно высока (от 916 кг/м<sup>3</sup> в рапсового масла до 1069 кг/м<sup>3</sup> в касторового [5]), в результате чего при распылении в цилиндре двигателя образуются крупные капли. При этом масло сгорает не

полностью. Вместе с тем при нагревании оно полимризуется, образуя пленку, которая закоксовывает форсунки, поршни и поршневые кольца. Попадая в смазывающее масло, растительные масла вступают с ними в химическую реакцию, в результате образуется вязкая, похожая на кашу масса, которая может при следующем запуске двигателя просто вывести из строя. В результате в автомобилях приходится чаще менять смазывающее масло. Также растительные масла имеют низкое цетановое число (для рапсового масла оно составляет 32-36, а для нефтяного дизельного топлива - около 50, что обуславливает различные возможности их самовозгорания) [7].

В некоторых автомастерских проводится переоборудование двигателей автомобилей, которые уже отработали свой моторесурс, для работы на отработанной растительном масле путем уменьшения его вязкости и более эффективной фильтрации. Улучшение фильтрации происходит путем установки дополнительного фильтра. Уменьшить вязкость масла можно путем подогрева (пропуская через канал отвода выхлопных газов) или разбавлением дизельным топливом. При этом обеспечивается его лучше смешение с воздухом и более полное сгорание. Но и такие двигатели со временем выходят из строя.

Наиболее адаптированным к дизельным двигателям альтернативным топливом из возобновляемых источников является биодизель. По сравнению с нефтяным дизельным топливом, он имеет хорошие смазывающие свойства (известно, что нефтяное дизельное топливо при удалении из него сернистых соединений теряет свои смазочные свойства, а биодизель, несмотря на малое содержание серы, характеризуется высокими смазочными показателями, при этом межремонтный срок эксплуатации двигателя увеличивается примерно на 50%). Почти полное отсутствие серы в биодизеле обуславливает низкое содержание ее окислов в выхлопе (0,001% против 0,05% в нефтяном дизельном топливе). Количество выбросов вредных соединений и твердых частиц при работе двигателя на биодизеле уменьшается на 20-25%, угарного газа - на 10-12%, чем при работе на нефтяном дизельном топливе. Он не содержит канцерогенного бензола, а выхлоп машины,

что работает на нем, пахнет жареными семечками. Углекислого газа в выхлопных газах при сгорании биодизеля ровно столько, сколько потребляется из атмосферы теми же растениями, из которых получено растительное масло. Биодизель имеет высокое цетановое число топлива (51, тогда как в нефтяном дизпаливе этот показатель составляет примерно 45), что улучшает запуск двигателя. Имеет высокую температуру вспышки (не менее 110°C), что делает его использование относительно безопасным.

Вместе с тем, повышение давления впрыска до 25% и рабочей температуры системы питания, может негативно влиять на надежность работы насосов и электронных управляющих систем, и привести к несколько ускоренному образованию нагара на форсунках. При низких температурах вязкость биодизеля растет, а в нем образуются кристаллы воска, которые могут закупорить топливопроводы и фильтры. Неочищенный от остатков метанола биодизель характеризуется агрессивностью относительно резиновых уплотнительных материалов, красок и лаков, а также алюминия. По теплоте сгорания биодизель на 10% уступает нефтяному дизтопливу (37,2 МДж/кг в биодизеля против 42,5 МДж/кг в нефтяного дизтоплива). Поэтому мощность двигателя, что работает на биодизеле, снижается в среднем на 7%, а расход топлива повышается примерно на 5-8% [7].

Биодизель представляет собой сложные эфиры жирных кислот и производится из сырья, которое содержит жиры (растительные или животные). При добавлении к жирам спиртов (метилового, этилового или изопропилового) при наличии катализатора проходит реакция алкоголиза, в результате которой из триглицеридов жирных кислот образуются глицерин и сложные эфиры, которые и называют биодизелем. Обязательным условием прохождения реакции алкоголиза является наличие катализатора и нагрева реагентов до температуры 40-80°C (по традиционной технологии производства). В качестве катализатора могут выступать кислоты или щелочи [30]. После отделения глицерина биодизель необходимо очистить от катализатора и остатков спирта, который для полного прохождения алкоголиза добавляет-

ся с избытком. Только после этого биодизель можно использовать в качестве топлива для дизельных двигателей.

Технология получения биодизеля со сверхкритическим состоянием метанола, разработанная японскими учеными, предполагает для прохождения реакции алкоголиза создания температурного режима около 240°C и давление 80 ат. При этом катализатор не применяется, а реакция проходит в течение 2-4 мин. Преимуществом данной технологии является отсутствие необходимости применения катализаторов, а следовательно, и потребности очистки готового продукта от них [31].

Наибольшую долю в структуре затрат на производство биодизеля составляет стоимость семян масличных культур, которая вследствие колебаний на рынке может существенно изменяться. Производить метиловые эфиры жирных кислот выгоднее из семян, выращенных в собственном хозяйстве, чем с приобретаемых (себестоимость такого биодизеля составляет 6,5 грн/л при урожайности озимого рапса 25 ц/га, 9,2 грн/л – при урожайности 15 ц/га, 12,1 грн/л – с купленного сырья).

Перспективным является производство биодизеля из отработанного растительного масла, которое в любом случае необходимо утилизировать. Себестоимость производства такого биодизеля составляет 1,5-2,5 грн/л. Однако технология производства биодизеля из отработанного масла несколько иная и возникают определенные затруднения с его очисткой. На начальном этапе внедрения находятся технологии производства биодизеля из водорослей.

Биодизель в Украине производится согласно национального стандарта ДСТУ 6081:2009 “Моторное топливо. Метиловые эфиры жирных кислот, масел и жиров для дизельных двигателей. Технические условия”. Этот стандарт гармонизирован с Европейским стандартом EN 14214:2003 “Топливо для автомобилей. Метиловые эфиры жирных кислот для дизельных двигателей. Требования и методы анализа”. Также разработан государственный стандарт ДСТУ 7178:2010 “Топливо альтернативное. Этиловые эфиры жирных кислот, масел и

жиров для дизельных двигателей. Технические требования и методы контроля” [7].

В последнее время ведутся исследования применения в качестве топлива для дизельных двигателей спиртов, что обусловлено большой сырьевой базой и относительно низкой стоимостью получения (особенно для этанола и метанола). Трудности применения вызваны физико-химическими свойствами спиртов. Главный недостаток – низкая самовозгораемость спиртов (температура самовозгорания этанола составляет 425°C, метанола – 455°C [7]). Хотя с ростом числа атомов углерода в молекуле цетановое число спиртов растет, при этом нужно учитывать, что стоимость многоатомных спиртов в несколько раз выше, поэтому экономически оправдано применение этанола и метанола, хотя их цетановые числа соответственно равны 8 и 3. В связи с этим применение низших спиртов в чистом виде требует конструктивных мер, обеспечивающих возгорание спиртов в цилиндре дизеля.

Следующая негативная сторона применения спиртов – их испаряемость. Вследствие этого необходимо предусматривать ликвидацию паровых пробок в системе питания. Высокая скрытая теплота испарения вызывает локальное понижение температуры смеси в цилиндре на 150-200 К.

Меньшая вязкость обуславливает изменение геометрии факела распыла, увеличение протечек через форсунки, плунжерные пары, ухудшает условия смазки плунжерной пары, в связи с чем могут происходить прихваты и задиры.

Меньшая теплота сгорания вызывает необходимость увеличения объема цикловой подачи в 2,3-2,8 раза, что потребует изменения регулировки топливной аппаратуры.

Кроме того, метанол имеет повышенную коррозионную и электрокоррозионную активность, что заставляет применять стойкие материалы.

При работе дизелей на спиртах, в результате большего содержания кислорода в спиртовом топливе и его более стабильных характеристиках, дымность и токсичность отработанных газов намного ниже. Процесс сгорания, экономичность и мощностные показатели в этом случае сильно зависят от способа подачи спиртового топлива, и в ли-

температуре нет однозначных оценок влияния его на рабочий процесс. Особенно много проблем вызывают пусковые качества, работа на режимах малых нагрузок и частотах вращения, работа на неустановившихся и переходных режимах.

Более низкая теплота сгорания спиртов вызывает необходимость увеличения цикловой порции, что, в свою очередь, обуславливает увеличение емкости топливных баков, переоборудования топливной аппаратуры.

Использование спирта в дизелях может быть осуществлено различными способами, к которым относятся:

- впрыск спирта в впускную систему в сочетании с впрыском дизельного топлива;
- впрыск спирта с помощью второй топливной системы и инициирование возгорания спирто-воздушной смеси запальной порцией дизельного топлива;
- расслоение заряда при внутреннем смеобразовании и искровое зажигание;
- использования эмульсий и растворов с дизельным топливом.

При переводе дизелей на спиртовые топлива в случае использования чистого спирта очень трудно обеспечить их самовозгорание. Поэтому большее распространение получили способы возгорания спирто-воздушной смеси с помощью запальной порции дизельного топлива жидкого или электрической искры, однако в этом случае необходимые конструкторские изменения: установка карбюратора или второй топливной системы высокого давления, необходимость размещения свечи зажигания, что невыполнимо для миллионов существующих дизелей.

С этой точки зрения более перспективно применение растворов спирта в дизельном топливе или применения специальных присадок, повышающих метановое число спиртового топлива. В качестве присадок используются амил-, гексил-, этилгексил-, циклогексилнитраты, что повышает метановое число спиртового топлива до 40 единиц. К недостаткам этого метода следует отнести значительную добавку (13-17% циклогексилнитрата) присадок, которые имеют высокую стоимость.

Применение растворов спирта в дизельном топливе позволяет обойтись без переделки двигателя. Однако растворимость

низших спиртов крайне незначительна (метанол почти не растворяется в дизельном топливе, а этанол растворяется при температурах свыше 36° С).

Одним из путей преодоления трудностей приготовления смесей является применение третьего компонента – совместного растворителя дизельного топлива и спирта. Общий растворитель должен иметь свойства дизельного топлива и спирта, то есть его молекула должна иметь как полярные свойства, так и алифатическую составляющую, для образования связей с углеводородами. В качестве растворителей можно использовать пропанол, изобутанол, октанол [32].

В настоящее время смесь минерального дизельного топлива с этанолом и присадками выпускается под общим европейским названием E-diesel. Лидером в использовании этанола в составе нефтяного дизельного топлива является Швеция. Самым употребляемым E-diesel является смесь из обычного дизтоплива, 7-10% этанола и 1-2% антикоррозионных, стабилизирующих и цетанповышающих присадок. Для использования таких топлив не нужно вносить конструктивные изменения в дизельном двигателе. Теплотворная способность E-дизеля на 3% ниже, чем традиционного дизтоплива, а удельный расход – на 2,8% выше. Эмиссия оксидов азота, оксида углерода и дымовых частиц ниже на 2, 17 и 21% соответственно. Шведский автопроизводитель Scania адаптировал два своих дизельных двигателя под топливо, содержащий 90% этанола. Для этого были заменены детали топливных насосов и форсунок, а также применены устойчивые к этанолу уплотнения [33]. Аналог E-дизеля выпускается в США под маркой O2Diesel [2].

Технология производства смесового дизельного топлива, что применяется в Германии, заключается в добавлении в нефтяное дизельное топливо 20% воды и 1% специального эмульгатора с обработкой смеси в диспергаторе. Смесь можно использовать в обычных дизельных двигателях без их переделки. Цвет смеси – мутно-белый. Срок хранения после приготовления – около трех месяцев [2].

В Российской Федерации для использования на военной технике разработано смесовое топливо ПБД-Л, в составе товарного

летнего дизтоплива (77%), воды (15%), специально синтезированного поверхностно-активного вещества, то есть эмульгатора (8%). Эмульгатор обеспечивает быстрое образование стабильной микроэмульсии типа "вода в масле" с размером микрокапель воды в объеме топлива менее 1 микрона [34]. В качестве эмульгатора применяют пентол в смеси с твин-80 в весовом соотношении 2:1, пентол в смеси с ОП-4 в весовом соотношении 3:1 [35]. При приготовлении ПБД-Л может быть использована пресная вода любого происхождения, однако желательнее применять дистиллированную воду. Компонентный состав топлива разработан с учетом возможности приготовления его отдельных партий не только на заводах, но и на местах эксплуатации техники с использованием штатных средств перекачки, транспортировки и хранения топлива.

Особенностью топлива ПБД-Л является то, что оно практически не воспламеняется и не горит при мощном огневом воздействии не только на танк, но на любое транспортное средство или объект с топливными баками и дизельным двигателем, которые надежно работают на таком "негорючем" топливе. Секрет состава уникальной топливной композиции простой. Известно, что при испарении вода поглощает большое количество тепла, поэтому издавна и до наших дней огонь в основном тушат водой. К тому же вода характеризуется самой высокой теплотой парообразования, то есть способностью поглощать тепло при испарении. Образованный при испарении воды водяной пар предотвращает доступ воздуха и, следовательно, кислорода, до источника пламени и тем самым прерывает процесс горения. К тому же водяной пар очень теплопроводный, то есть способен быстро отводить тепло с нагретого объекта, и так же, как и вода, характеризуется высокой теплоемкостью.

Поэтому при использовании топлива ПБД-Л на военной технике значительно повышается ее пожаровзрывобезопасность. При баллистических испытаниях баков с топливом ПБД-Л отмечены факты тушения топливом очагов пламени на почве.

Но пожаровзрывобезопасное топливо ПБД-Л не лишено недостатков. Цена его на порядок выше товарного дизтоплива, а экс-

плуатационный расход больше на 10-12%. В то же время, относительно высокую цену ПБД-Л можно сопоставить с ценой танка или дорогостоящей спецтехники, которые могут сгореть при огневом воздействии, или, например, с колоссальными убытками через не потушенные месяцами лесные пожары. Следует также учесть, сколько человеческих жизней может быть спасено в боевых условиях, автокатастрофах при применении на технике пожаровзрывобезопасного топлива [34].

Во многих странах применяется также смесевое дизельное топливо с добавлением 2% или 5% биодизеля. В Украине смесевое биодизельное топливо производится согласно ДСТУ 4840:2007 "Дизельное топливо повышенного качества. Технические условия", который предусматривает производство смесевое дизельного топлива В5 с 5%-ной добавкой биодизеля. Требуют разработки государственных стандартов на смесевые дизельные топлива с содержанием биодизеля 10, 20 и 30%, что позволит реализовывать его на рынке аналогично традиционным [8].

В Финляндии фирма "Neste Oil" начала разработку и продуцирования "биотоплива второго поколения", в котором применяется смесь биодизеля и водорода под торговой маркой NExBTL [36].

Дизельный двигатель можно также переоборудовать на газовое топливо (метан или пропан) Но для этого надо серьезно переработать штатную систему питания дизеля. Прежде всего нужно отметить, что на одном метане дизельный двигатель работать не может. Метан не может загораться от сжатия, как нефтяное дизельное топливо, поскольку температура его самовозгорания намного выше (около 595°C против 220°C у нефтяного дизтоплива [7]). Так что если попытаться заставить обычный дизельный двигатель работать на метане, температуры сжатого воздуха в цилиндрах просто не хватит для его самовозгорания. Поэтому "чисто газовый" дизель даже теоретически невозможен. Тем не менее, существуют два способа приспособить дизельный двигатель к работе на газе.

Первый способ, более простой и радикальный, требует существенной переработки мотора (что в Европе практикуется довольно давно). Для этого на дизельном двигателе



демонтируют топливную аппаратуру, вместо нее устанавливают систему зажигания, а форсунки заменяют свечами зажигания. Машина комплектуется соответствующим газобаллонным оборудованием, и газ подается с помощью дозатора во впускной коллектор. Но поскольку октановое число метана составляет 120, то степень сжатия, присущая дизелю, для него будет слишком высокой. Двигатель, переработанный таким образом, проработает очень недолго и разрушится от детонации. Чтобы обеспечить мотору нормальный режим работы, нужно уменьшить степень сжатия до 12-14 путем выборки "лишнего" металла на днищах поршней или в камерах сгорания головки блока. Если же этого окажется недостаточно, придется установить прокладки определенной толщины под головку блока цилиндров. Правда, в результате подобных переделок получится уже так называемый "газовый двигатель". Он ничем (кроме повышенного ресурса) не будет отличаться от переделанного под газ до такой же степени сжатия (12-14) бензинового мотора. После подобной переделки бывший дизель станет более экологичнее и экономичнее, а ресурс его возрастет. Но в таком исполнении двигатель сможет работать только на природном газе, а сеть газовых заправок у нас, пока не настолько развита, чтобы можно было эксплуатировать автомобиль, особенно не беспокоясь о том, хватит ли газа до следующей заправочной станции.

Существует и более простой вариант, который уже давно используется, хотя и распространен не очень широко. Речь идет о приспособлении обычного дизеля для работы на смеси нефтяного дизельного топлива и метана (так называемый газодизельный двигатель). В этом случае для работы дизеля на газе необходима подача в цилиндры некоторого количества жидкого дизельного топлива – так называемой запальной порции. При подаче в конце такта сжатия, она будет зажигаться и поджигать газовоздушную смесь, поступающую в цилиндры на такте впуска. Зажигательная порция для газифицированных быстроходных дизелей (такowymi считаются все автомобильные) составляет 15-30% от обычной порции жидкого дизельного топлива (в зависимости от газобаллонного

оборудования, типа двигателя и его состояния). Это то минимальное количество, которая, самовозгораясь, гарантировано подожжет в цилиндрах газовоздушную смесь. Преимущество такого мотора заключается в том, что, когда газ заканчивается, он может работать в своем обычном режиме – на жидком дизтопливе. При работе в таком режиме, когда 70-85% топлива составляет метан или пропан), у дизеля полностью исчезает свойственный ему черный дым. Правда, в выхлопе немного увеличивается содержание углеродородов. Но это уже не канцерогены, выброшенные дизельным двигателем (тот же 3,4-бензпирен), а лишь незначительное количество не сгоревшего, совершенно безвредного метана. Кроме того, в газодизеля, по сравнению с обычным дизельным двигателем, возрастает ресурс (через уменьшение отложений на деталях цилиндрико-поршневой группы) и срок службы масла. Для переработки мотора нужно не только установка газобаллонного оборудования, но и определенное доведение имеющейся топливной аппаратуры. Прежде всего это касается насоса высокого давления, который должен обеспечивать стабильную подачу небольших порций дизтоплива на всех режимах работы двигателя. Приспособить таким образом для работы на газе можно любой дизельный двигатель.

Сегодня сдерживающим фактором перевода дизельных двигателей на метан прежде всего является отсутствие экономической заинтересованности автовладельцев. Чтобы заинтересовать потребителей использовать сжатый и сжиженный газ, метан должен быть вдвое дешевле дизтоплива. Но ведь кроме расходов на два вида топлива в период эксплуатации и немалой цены газовой аппаратуры, в себестоимость "газификации" входит и внесение изменений в штатную систему питания дизеля. Поэтому переводить на газовое питание дизельные легковые автомобили с их в принципе относительно малым расходом топлива вряд ли целесообразно, поскольку срок окупаемости дополнительного оборудования растянется на 6-7 лет при годовом пробеге 15 тыс. км. С экономической точки зрения, газобаллонное оборудование наиболее выгодно устанавливать на большегрузных дизельных автомобилях с

большим суточним пробегом, где оно окупается гораздо быстрее. В то же время, тяжелые грузовики используются в качестве специализированных автомобилей, прежде всего самосвалов и тягачей, а также для установки различной спецтехники. На таких машинах свободного места для размещения большого количества баллонов конечно нет. Что же касается средних и легких дизельных грузовиков и фургонов, то экономическая целесообразность установки на них газобаллонного оборудования оправдана только при большом годовом пробеге (порядка 45-50 тыс. км). Хотя с ростом цен на дизтопливо это становится все более актуальным [37].

## ВЫВОД

Аналогами дизельного топлива из ископаемой сырья есть синтетическое дизельное топливо, получаемое при переработке угля, горючих сланцев и биомассы методом Фишера-Тропша; диметиловый эфир, сырьем для производства которого является природный газ, метанол и биомасса. Из всех биотоплив наиболее адаптированным для использования в дизельных двигателях есть биодизель, который по своим физическим свойствам приближается к нефтяным дизельным топливам. Применение чистого растительного масла может привести к уменьшению срока службы двигателя. Также для дизельных двигателей применяются смесевые топлива: метана или пропана и дизельного топлива (15-30%); дизельного топлива, воды и специального эмульгатора с отделкой смеси в диспергаторе; дизтоплива, 7-10% этанола и 1-2% присадок (выпускается под названием E-diesel); дизельного горючего топлива с добавлением 2% или 5% биодизеля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BP Statistical Review of World Energy – London, June 2010. – 50 p.
2. Технології виробництва біодизеля: [курс лекцій для студ. сільськогосп. вузів] / В.Г. Мироненко, В.О. Дубровін, В.М. Поліщук, С.В. Драгнев. – К.: Холтех, 2009. – 100 с.
3. Поліщук В.М. Сучасний стан світового та вітчизняного паливно-енергетичного ком-

плексу / В.М. Поліщук, Т.О. Білько // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Зб. наук. праць. – Київ, 2012. – № 170, ч. 1 – С. 205–215.

4. Поліщук В.М. Способи застосування біопалив в народному господарстві / В.М. Поліщук // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2008. – № 125. – С. 257–267.

5. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов – Харьков: Новое слово, 2007 – 600 с.

6. Polischuk V. Технології виробництва рослинної олії для використання в енергетичних цілях / V. Polischuk // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2010. – Tom. 12 В. – С. 377–384.

7. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2011. – 612 с.

8. Комплексні енергоощадні системи виробництва і використання твердих та рідких біопалив в умовах АПК: Рекомендації для агропромислових підприємств України / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, В.М. Поліщук, В.І. Кравчук, П.В. Гринько, А.В. Бурилко. – К: АграрМедіа Груп, 2011. – 144 с

9. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [ В. Дубровін, М. Корчемний, І. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко]. – К.: ЦТІ “Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.

10. Дубровин В.А. Украинское биотопливо будет качественным / В.А. Дубровин, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, В.Н. Полищук, С.В. Драгнев // Зерно. – 2007. – № 5. – С. 98–103.

11. Мироненко В.Г. Технології та технічні засоби виробництва біодизелю / В.Г. Мироненко, В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко, О.В. Поліщук / [Електронний ресурс] / Енергетика і автоматика. – 2010. – № 2 (4) // Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/ejournals/eia/2010\\_2/index.htm](http://www.nbu.gov.ua/ejournals/eia/2010_2/index.htm).

12. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Циганков – К: "Аграр Медіа Груп", 2010. – 360 с.

13. Rubezhmyak I. Аналіз окремих показників якості біодизелю та їх екологічної безпечності / Ivan Rubezhmyak, Taras Petrenko // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2010. – Т. 12В. – С. 71–75.

14. Поліщук В.М. Техніко-технологічні аспекти виробництва біодизельного пального / В.М. Поліщук // Вісник аграрної науки. – 2010. – №11. – С. 41–42.

15. Pavlenko M. Аналіз методів зневоднення дизельного біопалива / Maksim Pavlenko // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2011. – Т. 13В. – С. 62–65.

16. Поліщук В.М. Технології виробництва біодизелю (Огляд) / В.М. Поліщук, С.Є. Тарасенко, І.Д. Гуменюк, М.М. Яструб, О.В. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С. 354–359.

17. Поліщук В.М. Перспективи застосування дизельних біопалив в народному господарстві / В.М. Поліщук, М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 1. – С. 33–43.

18. Поліщук В.М. Проблеми розвитку дизельного біопалива в Україні / В.М. Поліщук, І.О. Білик, С.В. Драгнєв, О.В. Поліщук // Продуктивність агропромислового виробництва: наук.-практ. зб. – 2007. – Вип. 6. – С. 110–117.

19. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації щодо впровадження передового досвіду аграрних підприємств Польщі, Литви та України зі створення новітніх об'єктів біоенергетики, ефективного виробництва і використання біопалив: [Наук.-метод. рекомендації] / [В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, Ю.Ф. Мельник, В.Г. Мироненко та ін.]. – К.: Національний університет біоресурсів і природокористування України; Інститут будівництва,

механізації та електрифікації сільського господарства, Польща, Інститут аграрної інженерії, Литва. 2009. – 122 с.

20. Дубровін В.О. Енергетичний гектар України / В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, А.Є. Конеченков, С.В. Драгнєв // Посібник українського хлібороба. – 2007. – С. 218–228.

21. Василів Р.Г. Перспективи розвитку біотоплива в Росії. Сообщение 1. Биодизель / Р.Г. Василів / Весник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т.3. – №1 – С. 47–54.

22. Поліщук В.М. Економічні показники виробництва та використання дизельних біопалив / В.М. Поліщук // Продуктивність агропромислового виробництва: наук.-практ. зб. – 2008. – Вип. 11. – С. 65–68.

23. Поліщук В.М. Тваринні та рослинні жири як сировина для виробництва біодизелю (Узагальнення досвіду) / В.М. Поліщук // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 3 – С. 198–218.

24. Малолетнев А. С. Современное состояние технологий получения жидкого топлива из углей / А. С. Малолетнев, М. Я. Шпирт // Российский Химический Журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. LI – №6 – С. 44–53.

25. Романов А.Д. Создание технологии и оборудования для переработки биогаза в синтетическое топливо / А.Д. Романов, Мартынов М.А. // Материалы 5-й всероссийской научной молодежной школы ["Возобновляемые источники энергии"], (Москва, 25-26 октября 2006 г.) / Российский фонд фундаментальных исследований; ЗАО НПК "Сибгелиозкоэнерго". – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2006 – С. 97–100.

26. Гелетуша Г.Г. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Ч.1 / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железная // Экологические технологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 2. – С. 3–10.

27. Модульные энергонезависимые установки для переработки углеводородных газов в метанол, высокооктановый бензин, диметиловый эфир и водород / ЭСКО. Электронный журнал экосервисной компании "Экологические системы". Январь 2006. – № 1. [Электронный

ресурс] / 2012. Режим доступу до журн.: [http://esco-ecosys.narod.ru/2006\\_1/art19.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2006_1/art19.htm). Дата доступу: 26/05/2012.

28. Рост цен на бензин и дизельное топливо, почему, что будет дальше. Часть 3 / Группа компаний «Горячий фронт» [Электронный ресурс] / 2012. Режим доступу до журн.: <http://www.hotfront.ru/blog/category3/227>. Дата доступу: 26/05/2012.

29. Дизпаливо: вже скоро за 1 євро / Українська правда. 14 липня 2008. – [Електронний ресурс] / 2012. Режим доступу до журн.: <http://www.epravda.com.ua/publications/2008/07/14/163086/>.

30. Техника и технологии производства и переработки растительных масел / [Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С., Романцова С.В., Таров В.П.]. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010 – 96 с.

31. Поліщук В.М. Техніко-технологічні аспекти виробництва біодизельного пального / В.М. Поліщук // Вісник аграрної науки. – 2010. – №11. С. 41–42.

32. Матиевский Д.Д. Применение смесевых спиртовых топлив в дизелях автотракторного типа / Д. Д. Матиевский, С. П. Кулманаков // Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2000. – № 2. – С. 87–93.

33. Цыганков С.П. Биоэтанол / С.П. Цыганков – К.: ООО "Интерсервис", 2010. – 160 с.

34. Азев В.С. Горючее, которое горит только в двигателе. Водно-топливная композиция стоит дорого, но не дороже жизни экипажа танка / В.С. Азев, В.Р. Лебедев // Независимое военное обозрение. – 2004. – 21 мая. – С. 6.

35. Пат. RU2278892. Российская Федерация, МПК<sup>3</sup> G01N25/22. Композиция водно-топливной эмульсии / Миргород Ю. А.; заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Курский государственный университет". – Оpubл. 07.04.2007, РЖ 19П. Химия и переработка горючих полезных ископаемых и природных газов.

36. Долінський А.А. Продукування енергоносіїв з відновлювальної рослинної сировини / А.А. Долінський, Л.М. Грабов, В.І. Мершій, О.І. Шматок // Відновлювана та

нетрадиційна енергетика. – 2008. – №9. – С. 44–50.

37. Михайлов Б. Дизель может работать на газе / Борис Михайлов // Riga автомобильная. – 2006. – № 145. – С. 37.

## ALTERNATIVE FUEL-OILS

**Summary.** The necessity of search of fuels, able to replace oil diesel is grounded. The analogues of fuel-oil, which are made from fossil and renewable raw material, are analyzed. Their advantages and failings are considered. The estimation of technologies of their production and use is conducted.

**Key words:** methoxymethane, synthetic fuel-oil, E-diesel, gas is a diesel engine, blenderized fuels, vegetable butter, biodiesel, methyl ether, blenderized fuels.