

## ПОЛУЧЕНИЕ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

С.А. Нагорнов, С.И. Дворецкий, С.В. Романцова,  
К.С. Малахов, И.А. Рязанцева

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»; Лаборатория «Организация нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов» ГНУ ВИИТиН, г. Тамбов

**Ключевые слова и фразы:** биодизельное топливо; возобновляемое топливо; оборудование; растительные масла; светлые нефтепродукты; спирты.

**Аннотация:** Проведен анализ соответствия наиболее известных альтернативных топлив требованиям, предъявляемым к ним дизельными двигателями. Показаны достоинства и недостатки биодизельных топлив из спиртов, растительных масел, метиловых эфиров растительных масел.

Установлены особенности технологий получения биодизельных топлив и их аппаратурного оформления. Обоснованы перспективные направления развития производства биодизельного топлива.

В настоящее время автотранспорт и автотракторная техника являются основными потребителями нефтепродуктов и одним из главных источников загрязнения окружающей среды. Отечественный автомобильный парк неуклонно растет и по прогнозу может увеличиться с 27 до 37 млн автомобилей в 2010 г. В связи с более высокой в сравнении с карбюраторными двигателями степенью сжатия и коэффициентом избытка воздуха дизели более экономичны и находят широкое применение в практике. Потребность в топливе для них ежегодно возрастает. Согласно стратегии машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России, к 2010 г. прогнозируется увеличение потребления дизельного топлива с 5 до 12 млн т. На обеспечение топливом мобильной энергетики влияют два фактора.

Во-первых, в России существенно уменьшились темпы прироста запасов нефти: объем открываемых геологоразведкой новых нефтяных месторождений значительно меньше объема добываемой нефти. Если темпы потребления нефти представить в виде [1]:

$$dm_n / dt \gg (dm_g / dt + dm_z / dt),$$

где  $dm_n / dt$  – скорость потребления нефти;  $dm_g / dt$  – скорость добычи нефти;  $dm_z / dt$  – скорость геологоразведки новых месторождений, то при существующем сегодня сверхинтенсивном потреблении нефти легко видеть, что  $\lim d(m_g + m_z) / dt \rightarrow 0$ , то есть уже в ближайшие годы Россия может лишиться нефти как промышленного источника энерго-ресурсов.

Во-вторых, концепция развития автомобильной и автотракторной техники предусматривает поэтапную интеграцию российских производителей в мировой автомобильный и тракторный рынок и гармонизацию показателей отечественной мобильной и стационарной энергетики с Международными экологическими нормами на основе Правил Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН). В России законодательное ограничение эмиссии на уровне норм Евро-3 введено в 2008 г., норм Евро-4 – в 2010 г., норм Евро-5 – в 2014 г.

Основным средством, позволяющим эффективно обеспечивать потребности в топливе и улучшать экологические показатели мобильной энергетики, является постепенный переход от использования светлых нефтепродуктов к альтернативным возобновляемым видам топлива.

При этом новые виды топлива должны соответствовать требованиям, предъявляемым к ним дизельными двигателями.

Наиболее перспективными для применения в дизелях были признаны спирты, растительные масла, простые эфиры и эфиры растительных масел. Приведем краткую характеристику этих топлив.

Применение метанола в чистом виде в дизельном двигателе затруднено из-за его плохой воспламеняемости. Температура воспламеняемости паров метанола в воздухе составляет  $535^{\circ}\text{C}$ , цетановое число – 3,8, тогда как для обычных дизельных топлив эти показатели составляют соответственно  $280\text{--}310^{\circ}\text{C}$  и  $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, метанол характеризуется невысокой температурой кипения ( $65^{\circ}\text{C}$ ) и низкой вязкостью ( $0,75\text{ мм}^2/\text{с}$  при  $20^{\circ}\text{C}$ ), что может вызвать отказы в работе топливной аппаратуры дизеля. Вследствие низкой теплоты сгорания метанола ( $22\ 331\text{ кДж/кг}$ ), должен значительно возрасти его удельный расход в двигателе. Для улучшения воспламеняемости к метанолу необходимо добавить 10–20 % нитратных присадок, что отрицательно сказывается на составе отработавших газов. Эмиссия углеводородных компонентов увеличивается до 10 раз, эмиссия  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  – вдвое по сравнению с работой на одном дизельном топливе. Установлено также, что при работе на метаноле с присадками износ поршневых колец увеличивается в 3 раза. Большие затруднения при использовании чистого метанола (или с присадкой) в качестве дизельного топлива вызывает значительная теплота его испарения ( $1\ 150\text{ кДж/кг}$ , для дизельного топлива –  $225\text{ кДж/кг}$ ). Поэтому впрыск метанола в цилиндры дизеля сопровождается понижением температуры сжатого воздуха на  $200^{\circ}\text{C}$  (впрыск дизельного топлива – только на  $17^{\circ}\text{C}$ ). По указанным причинам чистый метанол непригоден в качестве топлива для дизелей, не переоборудованных для плохо воспламеняющихся топлив. В обычном дизеле метанол можно применять лишь в смеси с дизельным топливом. Однако при содержании метанола 20 % мощность двигателя снижается на 9,3 % и несколько понижается коэффициент полезного действия (КПД).

Начиная с середины 80-х годов прошлого столетия, за рубежом для замены дизельного топлива используют растительные масла, отличающиеся высокой теплотворной способностью. Несмотря на то, что стоимость растительного масла и заменяемое им дизельное топливо несопоставимы, в перспективе при возрастающей потребности в топливе и увеличении стоимости светлых нефтепродуктов потенциальная возможность использования растительных масел увеличивается. Введение в топливо непереработанных масел нежелательно, так как они имеют повышенную вязкость, сравнительно низкую теплопроводность, что уменьшает мощность двигателя в среднем на 15 %, обладают плохими пусковыми свойствами при пониженной температуре, а из-за наличия свободных кислот плохо совмещаются с конструкционными и уплотнительными материалами и имеют склонность к окислению при хранении. Поэтому масла подвергают алкилированию.

Анализ современной ситуации в производстве биотоплива показывает, что наблюдается заметный разрыв между прикладными работами в области оптимизации и модификации классических технологических процессов (теоретические основы алкохолиза начали создаваться еще в начале XX в. и к настоящему моменту достаточно глубоко проработаны, но эти способы уже исчерпали свои возможности) и разработкой принципиально новых технологий переработки растительной биомассы. Для последних при наличии множества, к сожалению, часто противоречивых результатов, практически отсутствует теоретически обоснованная научная база.

Известно [2], что показатели качества дизельного топлива должны, в частности, обеспечивать хорошую воспламеняемость и достаточно полное сгорание, обуславливающие мягкую работу и легкий пуск дизельного двигателя. Эти свойства в первую очередь зависят от фракционного состава, определяющего требуемую испаряемость топлива. Характерные точки кривой разгонки биодизельного топлива должны соответствовать аналогичным точкам на кривой разгонки дизельного топлива нефтяного происхождения. Этот важный показатель качества биодизельного топлива в научной литературе до сих пор практически не рассматривался. Существует определенная взаимосвязь между изменением периода задержки воспламенения дизельного топлива и температурой выкипания 50 %, которая характеризует приемистость работы двигателя внутреннего сгорания (чем ниже температура, тем лучше испаряемость – приемистость [3]). Увеличение в топливе тяжелых (хвостовых) фракций, какими, по сути, являются растительные масла, приводит к ухудшению смесеобразования, снижению экономичности, повышению нагарообразования и дымности отработавших газов. Указанные негативные последствия непосредственного использования растительных масел в качестве топлива или его компоненты подтверждены экспериментально [4–6].

Существующие технологии получения метиловых эфиров растительных масел сводятся к использованию двух основных способов, различающихся природой катализаторов (поскольку каталитические реакции более эффективны, чем не каталитические): метанолиз в присутствии гомогенного катализатора щелочного или кислотного типа и метанолиз в присутствии гетерогенного катализатора.

В случаях катализа щелочью, реакция метанолиза протекает значительно быстрее, чем при катализе кислотой. В настоящее время практически всё биотопливо получают с помощью гомогенного катализа. Наиболее важные параметры, влияющие на процесс получения биотоплива путем метанолиза: температура реакции, молярное соотношение спирта и масла, катализатор, время реакции, присутствие влаги и свободных жирных кислот. Эти факторы находятся в стадии непрерывного изучения, накапливается статистика и проводится анализ результатов полученных данных, но они пока далеки от нахождения оптимальных значений.

Процессы, использующие гетерогенные (например, цеолитные) катализаторы, пока находятся в стадии проработки на лабораторном уровне, они требуют очень высоких температур ( $200\text{--}220^\circ\text{C}$ ) и давлений ( $20\text{--}22$  атм.), чтобы обеспечить эффективность метанолиза. Объемная скорость течения масла через 1 литр гетерогенного катализатора в биореакторе не должна превышать 1 литра в час. Регенерация катализатора предполагает его прокачивание в муфеле на воздухе при  $550^\circ\text{C}$  в течение 3 часов. Нагрев со скоростью не более  $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Охлаждать также желательно медленно, без доступа воздуха, чтобы не образовывались на поверхности катализатора карбонаты. После охлаждения катализатор помещается в биореактор или емкость для хранения и герметизируется. Это одно из перспективных направлений, а основной проблемой является поиск наиболее оптимального катализатора.

Проведенный анализ показал [4–6], что традиционные технологии получения биотоплива морально устарели и не могут прояснить проблемную ситуацию в силу своей чрезвычайно энерго- и материалоемкости, периодичности процесса, низкой производительности и экологической несостоятельности.

Эволюция технологического прогресса в этой области непосредственно связана с развитием принципиально новых методов воздействия энергии силовых полей на кинетику реакций нуклеофильного замещения. В основе создания эффективных методов синтеза новых соединений из органических веществ заложено использование аппаратов с вихревым вращающимся электромагнитным полем, удельная энергетическая насыщенность рабочей зоны которых существенно превышает показатели аппаратов с механическим перемешиванием.

В работе использован индуктор с тремя обмотками (имевшими одинаковое число витков), оси которых были взаимно сдвинуты на угол  $120^\circ$ . По обмоткам пропускали равные по значениям амплитуд, но сдвинутые на четверть периода ( $90^\circ$ ) синусоидальные токи, которые возбуждали в обмотках переменное электромагнитное поле. За время одного периода электромагнитное поле индуктора поворачивалось на  $360^\circ$ : происходило непрерывное и равномерное изменение направления магнитного поля во времени. Скорость вращения магнитного поля варьировалась от  $15$  до  $50\text{ с}^{-1}$ , величина магнитной индукции изменялась в пределах от  $0,12$  до  $0,15$  тесла. В качестве ферромагнитных частиц использованы стальные цилиндры диаметром  $1$  мм и длиной от  $10$  до  $15$  мм. Объем рабочей камеры изменялся от  $0,75$  до  $0,95$  л. Ферромагнитные частицы заполняли  $1/5$  часть объема рабочей камеры.

Процесс метанолиза триацилглицеринов растительных масел при наложении вращающегося электромагнитного поля в присутствии в реакционной массе ферромагнитных частиц проводили при температуре  $60^\circ\text{C}$ , мольном отношении растительное масло/метиловый спирт, равном  $1:8$ , с использованием до  $1,5\text{--}2,0\%$  (масс.) катализатора. Выявлен импульсный характер воздействия на реакционную систему, инициируемый вращением электромагнитного поля и случайным движением ферромагнитных частиц.

### Заключение

Необходимость создания технологий получения и использования биодобавок из растительного сырья к нефтяному дизельному топливу обусловлена резким увеличением количества автомобилей и автотракторной техники, неизбежным истощением запасов нефти в недрах Земли и неотвратимым ухудшением состояния окружающей среды на планете.

Разработан технологический процесс получения биотоплива, как способ обработки растительных масел посредством ультразвуковой деструкции молекул триглицеридов (защищен патентом РФ № 2319735) и впервые применен роторный аппарат для проведения тонкого органического синтеза (конструкция роторного аппарата защищена патентами РФ № 2317142 и

231714). Разработана оригинальная технология производства биотоплива из растительных масел с использованием обработки сырья силовыми энергетическими полями различной физической природы.

Работа проводилась при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)» по проекту № 2.1.2/3098 «Исследование и оптимизация комплексной переработки растительного сырья в органическое топливо».

*Список литературы*

1. Нагорнов, С.А. Обеспечение сельского хозяйства нефтепродуктами / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, В.А. Поварова [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1998. – № 4. – С. 10–11.

2. Остриков, В.В. Топливо и смазочные материалы : учеб. пособие / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов, И.Д. Гафуров. – Уфа : Изд-во Башкирского ГАУ, 2006. – 292 с.

3. Пьядичев, Э.В. Исследование влияния физико-химических характеристик топлив на период задержки воспламенения в дизеле / Э.В. Пьядичев, А.Д. Гапиров, Д.Б. Кузнецов // Двигателестроение. – 1987. – № 8. – С. 35–37.

4. Федоренко, В.Ф. Использование биологических добавок в дизельное топливо / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 52 с.

5. Федоренко, В.Ф. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, С.А. Нагорнов [и др.]. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 133 с.

6. Федоренко, В.Ф. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, С.А. Нагорнов [и др.]. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 68 с.

© С.А. Нагорнов, С.И. Дворецкий, С.В. Романцова, К.С. Малахов, И.А. Рязанцева, 2009