

БИОДИЗЕЛЬ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ Понижения ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМЕРЗАНИЯ

Громов М.С.

МБОУ «СОШ №7 с углублённым изучением отдельных предметов», 11 класс

Руководитель: Куимова О.К., МБОУ «СОШ №7 с углублённым изучением отдельных предметов»,
учитель химии

Консультант: Рогожин А.Е., ДПУ НГТУ

По прогнозам к концу XXI века средняя температура воздуха нижних слоев атмосферы повысится на 2,9–6,4°C. Согласно докладу МГЭИК изменения температуры в первую очередь вызваны повышением концентрации парниковых газов вследствие человеческой деятельности.

Наибольший вклад в создание парникового эффекта вносит диоксид углерода, содержание которого в 2016 г. в атмосфере Земли достигло рекордной концентрации (исследования ГСА – Глобальной службы атмосферы – показали, что уровень углекислого газа в атмосфере превысил 0,041 %, что в 1,5 раза больше по сравнению с доиндустриальным показателем). Повышение концентрации CO₂ в атмосфере, в первую очередь, связано с резким увеличением выбросов при переработке и сжигании ископаемых видов топлива и ростом мирового автопарка.

Решением данной проблемы является использование альтернативных источников химического сырья и энергии, в том числе использование возобновляемого растительного сырья. Одним из таких видов сырья являются непищевые растительные масла и получаемые на их основе метиловые эфиры жирных кислот (биодизель).

Цель работы: исследовать методы устранения основного недостатка биодизельного топлива – высокой температуры замерзания.

Задачи:

- 1) Рассмотреть особенности биодизеля как топлива;
- 2) Ознакомиться со способами производства биодизельного топлива.
- 3) Изучить использование биодизеля в современном мире.
- 4) Изучить способы снижения температуры застывания биодизельного топлива в литературных источниках.
- 5) Экспериментально исследовать технологию снижения температуры застывания.

Методы исследования:

- 1) анализ литературных источников информации;
- 2) проведение эксперимента;
- 3) формулирование выводов.

Основная часть

Биодизель, или биодизельное топливо – жидкое моторное биотопливо, представляющее из себя смесь моноалкильных эфиров жирных кислот. Биодизель получают из триглицеридов (реже свободных жирных кислот) реакцией переэтерификации (этерификации) одноатомными спиртами (метанол, этанол и др.) [4, 25].

1. Преимущества и недостатки биодизеля

1) Биодизельное топливо не содержит соединений серы, нетоксично и полностью разлагается при попадании в окружающую среду, что позволяет говорить о минимизации загрязнения рек и озёр [13].

2) Биодизель обладает высокими смазывающими свойствами и уже несколько десятилетий используется в качестве протизносных присадок к дизельному топливу [13].

3) При использовании 100 % биодизельного топлива выбросы парниковых газов по сравнению с нефтяным дизельным топливом снижаются на 74%. Это обусловлено тем, что диоксид углерода, выделяемый при сжигании биодизеля, поглощается и перерабатывается растениями, из масла которых производится биодизель. При сгорании биодизеля выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое было потреблено из атмосферы растением за весь период его жизни.

4) Более высокое Цетановое число – для минерального дизтоплива 42–45; – для биодизеля (метиловый эфир) не менее 51;

5) Высокая температура воспламенения. Точка воспламенения для биодизеля превышает 150°C, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом.

6) Жмых, получаемый в процессе производства, используется в качестве корма для скота, что позволяет более полно утилизировать биомассу растения.

Между тем, очевидны недостатки биодизеля [4]:

1) Под производство сырья для биодизеля отчуждаются большие земельные площа-

ди, на которых нередко используют повышенные дозы средств защиты растений. Это приводит к биодеградации грунтов и снижению качества почв.

2) Срок хранения готового биодизеля невысок – около 3 месяцев.

3) Биодизель обладает высокой температурой застывания, поэтому в холодное время года необходимо подогревать топливо или применять смеси 20% биодизеля и 80% минерального дизеля.

2. Производство биодизеля

Для получения биодизеля используются различные методы, а именно: прямое смешивание, термический крекинг (пиролиз), этерификация, переэтерификация и микроэмульсирование.

2.1. Переэтерификация [10]

По причине высоко кислотного числа, присущего большинству растительных масел (более 4 мг гидроксида калия на 1 г масла), прямой процесс переэтерификации, как правило, неприменим. Перед ним требуется провести несколько шагов: предварительная обработка, этерификация, затем переэтерификация и процесс заключительной обработки.

Переэтерификация может применяться напрямую, если кислотное число масла составляет менее 4 мг КОН на г масла.

А) Предварительная обработка

В этом процессе необработанное масло подвергается роторному испарению при нагревании до 95°C в течение 1 часа. Цель: устранение влаги.

Б) Этерификация

Метод этерификации используется для снижения кислотного числа биодизельного сырья перед переэтерификацией. Масло смешивается с 50% объемной доли спирта (метанол или этанол) и 1% серной кислоты в колбе, в ней происходит кислотнокатализируемая этерификация. Реакционную смесь поддерживают при температуре 60 °С или выше в течение 3 часов, при этом происходит перемешивание со скоростью 400 об/мин.

Когда первичная фаза этерификации кислоты завершена, продукт переносится в разделительную воронку, где отделяется избыток метанола/этанола. Нижний слой продукта нагревают до 90°C в течение 60 минут для отделения остатков спирта и воды от образовавшихся эфирных масел. После этого масла используются для переэтерификации.

В) Переэтерификация

Переэтерификация – это реакция животных или растительных жиров со спиртом (метанолом/этанолом), при которой образуются сложные эфиры и глицерин. Скорость реакции повышается использованием катализаторов, которые могут быть как гомогенными (NaOH, KOH и CH_3ONa), так и гетерогенными (MgO, CaO, Na, K). По завершению реакции смесь содержит в основном сложные эфиры и глицерин, а также моно- ди- и триглицеролы, катализаторы, мыла. Биодизель отделяется от глицерина в процессе последующей обработки.

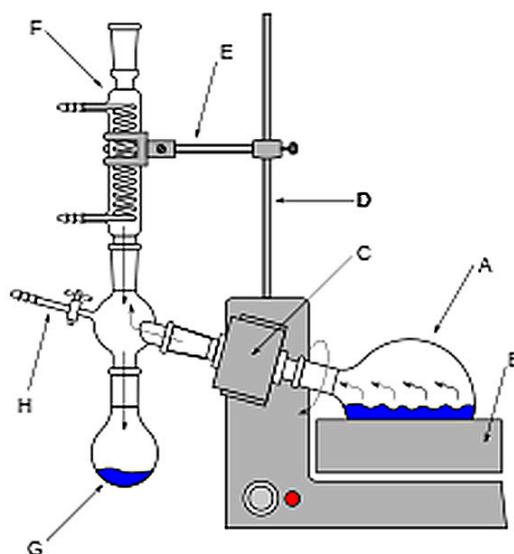


Рис. 1. Установка для проведения роторного испарения

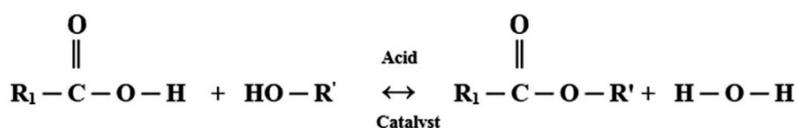


Рис. 2. Схема реакции этерификации

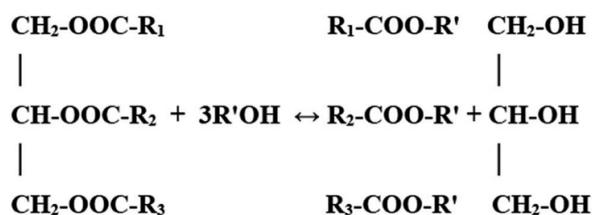


Рис. 3. Схема реакции переэтерификации

Г) Окончательная обработка

Продукт переэтерификации промывают дистиллированной водой при температуре выше 65 °С для удаления глицерина и других загрязняющих компонентов. После этого биодизель подвергается повторному роторному испарению для удаления воды и спирта. Окончательно влага поглощается использованием Na₂SO₄. Конечный продукт фильтруется и собирается.

2.2. Прямое смешивание

Неочищенные растительные масла смешиваются с минеральным дизельным топливом до достижения необходимой вязкости. Прямое использование растительных масел в качестве топлива для дизельных двигателей сопровождается многочисленными трудностями:

1) Энергия сжатия, необходимая для растительных масел, такая же, как и у дизеля, однако способность жирных кислот к полимеризации и окислению способна вызвать загустевание топлива во время хранения [3].

2) Цетановое число (32–40) и удельная теплота сгорания (39–40 мДж/кг) растительных масел ниже, чем у дизельного топлива – 42–45 и 42 мДж/кг соответственно, но кинематическая вязкость (0,003–0,004 м²/с) и температура вспышки (около 200 °С) намного выше.

В результате этого длительное использование растительных масел в качестве топлива требует модификации двигателя. Смешивание различных растительных масел способно улучшить значения вязкости и летучести, но так как молекулярная структура остается неизменной, химические свойства масел не изменяются [9].

Преимущества: 1) простота способа; 2) дешевизна масел;

Недостатки: 1) высокая вязкость топлива затрудняет его впрыскивание в рабочую область двигателя; 2) проблема хранения; 3) образование высокомолекулярных отложений в двигателе; 4) дороговизна необходимой модификации двигателя.

2.3. Гидрирование (гидроочистка) триглицеридов

Топливо может быть получено из растительных масел, например, рапсового, соевого, и животного жира и т. д., путем гидроочистки масел.

Технология состоит из трёх этапов: во-первых, предварительная обработка масел; затем очистка масел от примесей, и, наконец, гидрирование: масла (триглицериды) и водород подвергают взаимодействию под высоким давлением, чтобы удалить

кислород, а полученная углеводородная цепь, по сути, является биодизельным топливом [19].

Побочный продукт – смесь углеводородов, не содержащая серу, и ароматические углеводороды, которая тоже может быть превращена в топливо путем изомеризации линейных углеводородов. Температура застывания полученной смеси около -40°C , Цетановое число – от 75 до 95, при этом плотность и теплота сгорания почти такая же, как и у дизельного топлива [20].

Наиболее активно используется сырье первого поколения, например, рапс, соя, канола, пальмовое масло, ятрофа и касторовое масло.

Мировыми лидерами по объемам производства биодизеля являются США, Германия, Франция, Италия и Испания. Например, в 2008 году на территории США было получено 2611 млн. литров биодизеля. Показатели европейских стран в этом плане скромнее. За тот же период в Германии получено 5302 тыс. тонн данного продукта.

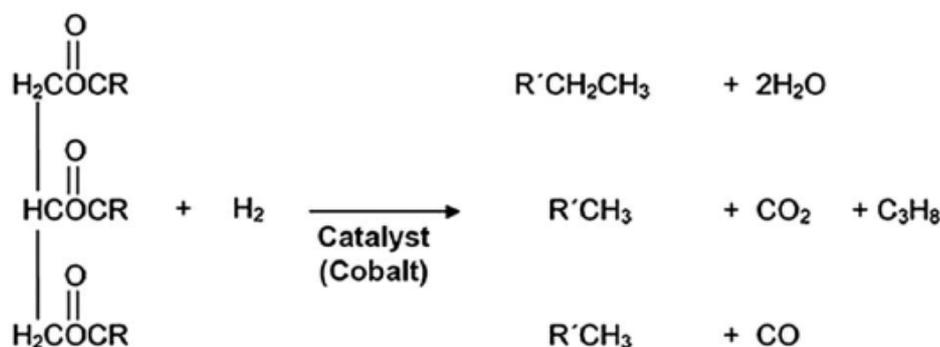


Рис. 4. Схема гидрирования триглицеридов

Преимущества: 1) свойства топлива почти совпадают со свойствами дизельного топлива; 2) топливо, производимое из побочных продуктов, во многом превосходит биодизель эфирного типа.

Недостатки: 1) стоимость гидроочистки выше, чем процесса переэтерификации; 2) эффективность топлива из побочных продуктов ниже на высоких скоростях, чем у топлива эфирного типа; 3) любые примеси, оставшиеся к третьему этапу, способны вызвать дезактивацию катализатора [19].

3. Используемое сырье

Выделяют 3 «поколения» сырья для биодизеля: первое – сельскохозяйственные культуры, второе – жиросодержащие отходы, третье – липиды, получаемые из микроводорослей.

В странах Евросоюза биодизель начал производиться в только 1992 году, но уже в июле 2010 года в странах Евросоюза работали 245 заводов, суммарной мощностью 22 млн тонн. В 2004 году около 80% европейского биодизеля было произведено из рапсового масла, при этом примерно треть урожая рапса в 2004 года было использовано именно для его производства.

В США на октябрь 2004 года установленные мощности составляли примерно 567 млн литров в год, а к середине 2008 года в США работали уже 149 заводов суммарной мощностью примерно 7,669 млрд литров в год.

В 2010 году мировое производство биодизеля выросло на 12% в сравнении с 2009 годом и достигло 19 миллиардов литров.

Таблица 1

«Общее производство биодизеля [30]

Страна	2004 г., тыс. т	2005 г., тыс. т	2006 г., тыс. т	2007 г., тыс. т	2008 г., тыс. т	2009 г., тыс. т
Австрия	57	85	123	267	213	310
Бельгия	-	1	25	166	277	416
Кипр	-	1	1	9	9	9
Чехия	60	133	107	61	104	164
Дания	70	71	80	85	231 (Совместно)	233 (Совместно)
Швеция	1,4	1	13	63		
Франция	348	492	743	872	1815	1959
Германия	1035	1669	2662	2890	2819	2539
Греция	-	3	42	100	107	77
Венгрия	-	-	-	7	105	133
Италия	320	396	447	363	595	737
Британия	9	51	192	150	192	137
Латвия	-	5	7	9	30	44
Литва	5	7	10	26	66	98
Мальта	-	2	2	1	1	1
Польша	-	100	116	80	275	332
Португалия	-	1	91	175	268	250
Словакия	15	78	82	46	146	101
Словения	-	8	11	11	9	9
Испания	13	73	99	168	207	859
Эстония	-	1	7	-	-	24
Болгария	-	-	-	-	11	25
Финляндия	-	-	-	-	85	220
США	94 500	283 500	2200000	2200000	2611980	2611980
Аргентина	-	25000	50000	173000	562000	2100000
Бразилия	-	-	-	450 000	-	2300000

Законодательное стимулирование производства

Страна/страны	Требование
США	5% содержание биодизеля в дизельном топливе с мая 2009 года
Франция	7% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель)
Европейский Союз	5,75% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель)
Австралия	350 млн литров биотоплив к 2010 году
Бразилия	2% с 1 января 2008, 4% с 1 июля 2009 года, 5% с 2010 года
Зимбабве	10% биодизеля от общего потребления дизельного топлива;
Малайзия	20% биодизеля от общего потребления дизельного топлива;
Таиланд	5% биодизеля в дизельном топливе к 2011 году, 10% к 2012 году;
Новая Зеландия	5% биотоплив к 2008 году (этанол + биодизель);
Индия	20% биотоплив к 2017 году (этанол + биодизель)
Китай	Производство ежегодно 8 млн тонн к 2020 году;
Индонезия	10% биотоплив к 2010 году (этанол + биодизель);
Южная Корея	0,5% биодизеля от общего потребления дизельного топлива с 2006 года, 5% с 2008 года;
Канада	2% биодизеля в автомобильном и печном топливе к 2012 году;
Япония	С марта 2007 года 5% содержание биодизеля в дизельном автомобильном топливе;
Филиппины	1% биодизеля в автомобильном и топливе с 2007 года, 2% с 2008 года;
Германия	5% в автомобильном топливе с 1 января 2007 года;
Ирландия	5,75% биотоплив к 2009 году (этанол + биодизель). 10% биотоплив к 2020 году;
Дания	10% биотоплив к 2020 году;
Тайвань	1% в автомобильном топливе с 2008 года 2% с 2010 года;
Португалия	10% в автомобильном топливе с 2010 года.
Колумбия	5% в автомобильном топливе. 10% с 2010 года, 20% с 2012 года.
Аргентина	5% в автомобильном топливе к 2010 году.
Чили	5% содержание в автомобильном топливе.
Мексика	3,2% биотоплив в автомобильном топливе к 2012 году.

4. Экспериментальная часть

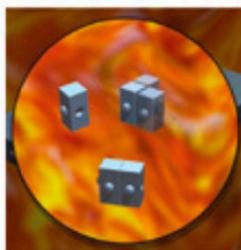
4.1. Изучение способов снижения температуры застывания биодизельного топлива

Выделяют 3 основных способа снижения температуры застывания биодизельного топлива: 1) использование присадок к топливу; 2) озонирование; 3) винтеризация.

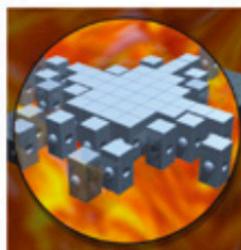
4.1.1. Депрессорные присадки [4, 6]

Присадки понижают температуру помутнения, температуру застывания и улучшают качество фильтрации топлива на холоду путем изменения формы, размера, скорости роста и объединения кристаллов, не позволяя образоваться крупным кристаллам при низких температурах.

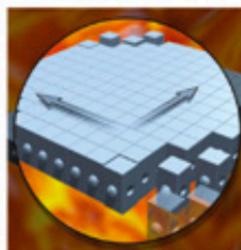
Без депрессора



Кристаллизация молекул парафина при температурах ниже температуры помутнения



При слоистом росте в основном образуются иглы и пластины

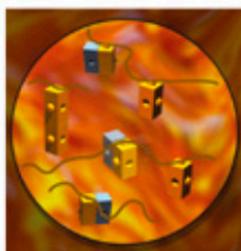


Кристаллы парафина продолжают расти

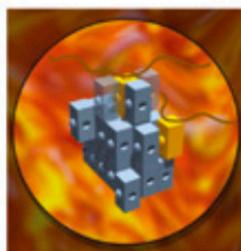


Формирование большой, структурированной трехмерной сети кристаллов с размерами > 100 мкм, течение масла прекращается

С депрессором



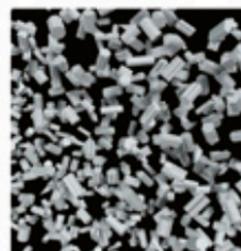
Происходит совместная кристаллизация молекул парафина и кристаллических элементов депрессоров



Депрессор меняет морфологию кристаллов парафина



Сближение кристаллов парафина предотвращается, структуры получаются мельше и хаотичнее



Не происходит агрегирования гелеподобной парафиновой структуры, и масло продолжает течь без предела текучести



Кристаллический элемент, сформированный n-парафинами



Кристаллический элемент, сформированный депрессором



Основная цепь полимера

Рис. 5. Различие скорости роста и объединения кристаллов с присадками и без них

4.1.2. Озонирование [24]

Микроскопические исследования при низкой температуре показали, что озонирование масла препятствует агломерации частиц биодизеля, не давая образовываться кристаллам.

4.1.3. Винтеризация [3]

Винтеризация – процесс, представляющий собой медленное охлаждение биодизеля до температуры замерзания, по завершению которого все продукты кристаллизации отделяются путем фильтрации. Улучшение «холодных свойств» биодизеля происходит за счет удаления наиболее длинноцепочечных органических соединений (от 20 и более) за счет фильтрации после винтеризации. Температура винтеризации – около -8°C .

Для терморегуляции во время фильтрации длинноцепочечных метиловых эфиров может использоваться солевой аппликатор.

4.2. Экспериментальное исследование эффективности добавления депрессорных присадок к топливу как метода решения проблемы высокой температуры застывания [23]

4.2.1. Исследование изменения температуры помутнения биодизельного топлива

Методика исследования:

Для определения температуры помутнения МЭЖК образец (биодизель, полученный из рапсового масла) наливали в стеклянную пробирку до метки и вставляли термометр при помощи корковой пробки.

Пробирку с продуктом и термометром укрепляли при помощи пробки в муфте так, чтобы ее стенки находились приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты.

Пробирку с муфтой закрепляли в держателе штатива в вертикальном положении

и помещали в криостат, температуру которого предварительно устанавливали на 12°C ниже намеченной для определения температуры застывания. МЭЖК во время охлаждения непрерывно перемешивали со скоростью 60 движений в минуту.

За 5°C до ожидаемой температуры помутнения начинали проводить сравнение анализируемого образца с прозрачным при комнатной температуре эталоном. Если биодизель по сравнению с эталоном не изменялся (легкая опалесценция, слегка матовый оттенок, не увеличивающийся при дальнейшем понижении температуры, во внимание не принимались), то повторное наблюдение проводили через каждый градус. Сравнительные наблюдения с прозрачным эталоном проводили до тех пор, пока МЭЖК не становился мутным.

дильсь приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты.

Пробирку с муфтой закрепляли в держателе штатива в вертикальном положении и помещали в криостат, температуру которого предварительно устанавливали на 5°C ниже предполагаемой для определения температуры застывания.

Когда продукт в пробирке принимал температуру, намеченную для опыта, пробирку наклоняли под углом 45°C и, не вынимая из охлаждающей смеси, держали в таком положении в течение 1 мин. После этого пробирку с муфтой осторожно вынимали из охлаждающей смеси, быстро вытирали муфту и наблюдали, не сместился ли мениск испытуемого продукта.

Для нахождения границы застывания (переход от подвижности к неподвижности

Таблица 3

Зависимость температуры помутнения биодизеля от присадки

Название присадки	Кол-во, % мас	Температура помутнения, °C
Без присадки	-	-1
Д-110 – присадка на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18	0,01	-1
	0,05	-3
	0,20	-3
	0,50	-3
Viscoplex-7–610 – присадка на основе эфиров полиметакрилатов	0,01	-1
	0,05	-2
	0,20	-2
	0,50	-2
Dodiflow – присадка на основе сополимеров этилена и винилацетата	0,05	-2
	0,10	-2
	0,20	-2
	0,50	-2
«Присадка № 116» на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18 с 15% винилацетата	0,05	-2
	0,20	-3
	0,50	-4
	1,00	-4
	5,00	-6

4.2.2. Исследование изменения температуры застывания биодизельного топлива

Методика исследования:

Образец наливали в стеклянную пробирку до метки и вставляли термометр при помощи корковой пробки. Пробирку с продуктом и термометром укрепляли при помощи пробки в муфте так, чтобы ее стенки нахо-

или наоборот) определение повторяли, понижая или повышая температуру испытания на 2°C до тех пор, пока не была установлена такая температура, при которой мениск продукта оставался неподвижным, а при повторном испытании при температуре на 2°C выше он сдвигался. Эту температуру фиксировали как установленную для данного опыта (табл. 4).

Таблица 4

«Зависимость температуры застывания биодизеля от состава»

Название присадки	Кол-во, % мас	Температура застывания, °С
Без присадки	-	-5
Д-110 – присадка на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18	0,01	-5
	0,05	-31
	0,20	-11
	0,50	-11
Viscoplex-7–610 – присадка на основе эфиров полиметакрилатов	0,01	-5
	0,05	-35
	0,20	-13
	0,50	-13
Dodiflow – присадка на основе сополимеров этилена и винилацетата	0,05	-12
	0,10	-18
	0,20	-25
	0,50	-20
«Присадка № 116» на основе эфиров полиметакрилата со спиртами C12–C18 с 15% винилацетата	0,05	-7
	0,20	-9
	0,50	-13
	1,00	-16
	5,00	-15

Вывод: наиболее эффективной присадкой оказался образец марки Viscoplex, произведенный немецкой компанией Evonik Industries, при концентрации 0,05% от массовой доли, несмотря на то, что при измерении температуры помутнения этот же образец не показал значительных изменений. Учтя все полученные данные, можно сделать вывод, что наиболее высокий эффект оказывают эфиры полиметакрилата в составе присадки.

Заключение

В работе автор рассмотрел особенности биодизеля как топлива и доказал, что он может стать эффективной заменой минерального дизеля;

- изучил способы изготовления биодизеля и выяснил, что применение большинства из них не требует дорогостоящего оборудования и сырья;

- исследовал применение биодизеля в современном мире: с каждым годом его производство и потребление возрастает;

- изучил способы понижения температуры застывания в литературных источниках и выяснил, что существует три основных способа решения этой проблемы: винтеризация, озонирование и добавление депрессорных присадок;

- проанализировал наиболее популярные типы присадок и определил, что наиболее эффективной является присадка на ос-

нове эфиров полиметакрилатов (на примере присадки Viscoplex).

Список литературы

1. Agarwal A.K., Gupta T., Shuklaand P.C., Dhar A. *EnergyConvers. Manage*, 2015.
2. Imdadul H., Masjuki H., Kalam M., Zulkifli N., Rashed M., Rashedul H., Monirul I., Mosarof M. *RSC Adv.*, 2015.
3. Berchmans H.J., Hirata S. *Bioresour. Technol.*, 2008.
4. Veljković V.B., Lakićević S.H., Stamenković O.S., Todorović Z.B., Lazić M.L. *Fuel*, 2006.
5. Bouaid A., El Boulifi N., Hahati K., Martinez M., Aracil J. *Chem. Eng. J.*, 2014.
6. Sarin A., Arora R., Singh N., Sharma M., Malhotra R. *Energy*, 2009.
7. Zuleta E.C., Rios L.A., Benjumea P.N. *Fuel Process. Technol.*, 2012.
8. Moser B.R. in *Biofuels*, 2011.
9. Palash S.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Atabani A.E., Rizwanul Fattah I.M., Sanjid A. *Energy Convers. Manage*, 2015
10. Atabani A., da Silva Cesar A. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2014.
11. Teixeira L.S., Couto M.B., Souza G.S., Andrade Filho M., Assis J.C., Guimarães P.R., Pontes L.A., Almeida S.Q., Teixeira J.S. *Biomass Bioenergy*, 2010.
12. Mittelbach M., Remschmidt C. *Biodiesel: The comprehensive handbook*, 2004.
13. National biodiesel board // *Lubricity Benefits*, 2017.
14. Knothe G. *Energy Environ. Sci.*, 2009.
15. Chen X., Yuan Y., Lai Y. *Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering RSETE.*, 2011.
16. van Gerpen J.H., He B. // *Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals*, the Royal Society of Chemistry, 2010.
17. Knothe G. *Green Chemistry*, 2011.

18. Najafi M.H., Zeinoaldini S., Ganjkanlou M., Mohammadi H., Hopkins D.L., Ponnampalam E.N., *Meat Science*, 2012.
19. Hartikka T., Kuronen M., Technical performance of HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) in diesel engines, 2012.
20. Kuronen M., Mikkonen S., Aakko P., Murtonen T. Hydrotreated vegetable oil as fuel for heavy duty diesel engines, 2007.
21. Liu C., Yang M., Wang J., Wang M., Huang F. The 12th International Rapeseed Congress, 2007.
22. Udomsap P., Sahapatsombat U., Puttasawat B., Krasae P., Chollacoop N., Topaiboul S., *Met. J. Mater. Miner.* 2008.
23. ГОСТ 20287–91.
24. El Rafie S., Attia N. *Desalination*, 2008.
25. Leung D.Y.C., Wu X., Leung M.K.H. *Appl. Energy*, 2010.
26. Santos R.C.R., Vieira R.B., Valentini A. *Microchemistry*, 2013.
27. Danielski L., Zetzel C., Hense H., Brunner G. // *J. Supercrit. Fluids*, 2005.
28. Dunn R.O. Improving the cold flow properties of biodiesel by fractionation, 2011.
29. Hasenhuettl G.L., Hartel R.W. Food emulsifiers and their applications, 2008.
30. European Biodiesel Board, EU biodiesel industry restrained growth in challenging times, 2010/

Приложение

Словарь терминов

- 1) Цетановое число – характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (то есть свежего заряда) (промежутки времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения). Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь.
- 2) Кислотное число – масса в миллиграммах гидроксида калия (KOH), необходимая для нейтрализации всех кислых компонентов, содержащихся в 1 г исследуемого вещества.
- 3) Температура вспышки – наименьшая температура летучего конденсированного вещества, при которой пары над поверхностью вещества способны вспыхивать в воздухе под воздействием источника зажигания, однако устойчивое горение после удаления источника зажигания не возникает.
- 4) Солевой аппликатор – многофазная химическая грелка, в основу работы, которой положен эффект выделения тепла при изменении фазового состояния некоторых материалов, часто – кристаллизации солей из перенасыщенного раствора. Могут использоваться не только для нагрева, но и для охлаждения.
- 5) Криостат – устройство теплоизолированное от окружающей среды для получения низкой температуры. В нём низкая температура поддерживается за счёт обмена теплом с посторонним источником низких температур.