

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ В ТОПЛИВАХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ, ЦЕТАНОПОВЫШАЮЩИХ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРИСАДОК

**Репин Д.В.**

*магистр, старший оператор 4 научной роты,  
2 лаборатории испытательной ФГАУ ВИТ ЭРА,  
г. Анапа, тел.: 89266136974*

**Алексин Д.А.**

*бакалавр, оператор научной роты  
2 лаборатории испытательной  
Военного инновационного технополиса «ЭРА»  
г. Анапа, тел.: 89167985315*

**Соловьев А. В.**

*магистр, старший оператор 4 научной роты  
2 лаборатории испытательной  
Военного инновационного технополиса «ЭРА»  
г. Анапа, тел.: 89150810298*

**Аннотация.** В статье систематизированы данные относительно используемых противоизносных, цетаноповышающих и антиокислительных присадок к моторному топливу. Проанализированы современные результаты синтеза новых отдельных присадок и композиций на их основе. Очерчены перспективы дальнейшей работы относительно поиска эффективных добавок к моторному топливу.

**Ключевые слова:** присадки, моторное топливо, химический состав, композиции

---

**Актуальность.** Современные требования к моторным топливам связаны с необходимостью поиска различных видов присадок. Как отечественными, так и зарубежными исследователями ведется поиск разных антиоксидантов с целью ингибирования процесса окисления углеводородов моторного топлива и увеличения их стабильности.

Отмечается ужесточение требований к качеству топлива. Например, на дизельное топливо (ДТ) в РФ действуют требования ГОСТ 305-2013, ГОСТ Р 52368-2005, соответствующие европейским нормам EN590. Производство такого топлива невозможно без присадок с разными функциями: противоизносных, цетаноповышающих, депрессорных. Большая доля присадок импортируется, поскольку при не высокой заинтересованности в них изготовителям не выгодно вкладывать средства в новое производство. Однако в ближайшей перспективе такое состояние дел вероятнее всего изменится.

**Цель данной работы** заключается в систематизации используемых противоизносных, цетаноповышающих и антиокислительных присадок к моторному топливу.

Обзор применяющихся в топливах функциональных противоизносных, цетаноповышающих и антиокислительных присадок

Подробный обзор применяемых присадок к моторным топливам выполнен в монографии А.М. Даниловым [3], в которой акцентируется внимание на необходимости применения присадок из-за процессов разделения фаз и образования отложений в двигателе в виде смол при полимеризации и поликонденсации продуктов окисления. Результатом является уменьшение КПД двигателя и образование токсичных компонентов в выхлопных газах.

Сегодня существует огромное количество присадок, применяющихся в топливах, все они имеют разное назначение. Количество функциональных типов присадок постоянно растет. Основные виды представлены на рис. 1.

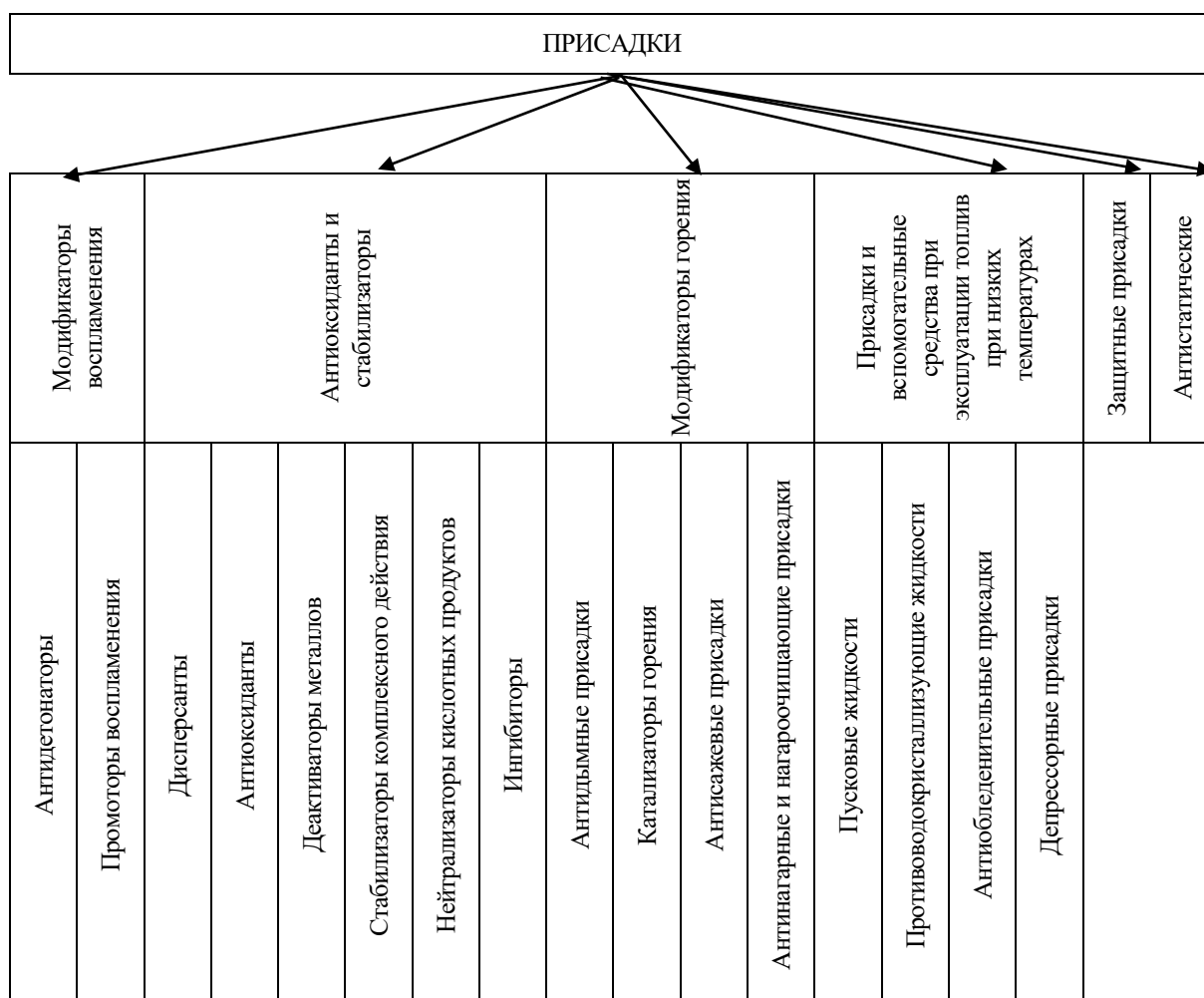
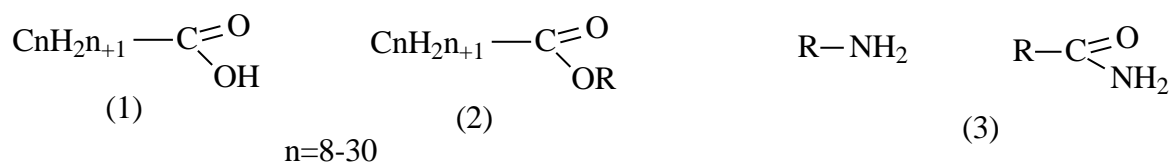


Рисунок 1 – Основные виды присадок к моторным топливам

### 1.1 Противоизносные присадки

Наиболее распространенные противоизносные присадки, используемые крупными нефтехимическими компаниями: высокомолекулярные карбоновые кислоты (1); сложные эфиры высокомолекулярных карбоновых кислот (2); азотсодержащие соединения, в основном амины и амиды жирных кислот (3):



*R – циклические и алифатические радикалы*

Рисунок 2 – Высокомолекулярные карбоновые кислоты, сложные эфиры высокомолекулярных карбоновых кислот, азотсодержащие соединения

Одними из первых соединений, которые были использованы в качестве присадок, являются нафтеновые кислоты [2].

В работе [2] описаны механизмы действия смазывающей (противоизносной) присадки. Согласно адсорбционной теории на поверхности рабочих частей механизмов создается прочная трибологическая пленка. Другая теория предполагает, что дефекты, присутствующие на металлической поверхности, заполняются металлокомплексами, образованными при взаимодействии с присадкой, при этом износ металла при трении уменьшается.

В качестве присадок широко используются жирные кислоты, в том числе кислоты талловых масел. Смоляные (диптереновые) кислоты – это карбоновые кислоты, в основном фенантренового ряда общей формулы  $\text{C}_{19}\text{H}_{27-31}\text{COOH}$ . Присутствие смоляных кислот в топливе может спровоцировать нагарообразование. Повышают эффективность присадок на основе талловых масел, используя их производные, в частности амиды, эфиры и т.п. [2].

Среди противоизносных присадок наиболее распространенными являются:

Название/производитель	Основа
KerokorLA 95, KerokorLA 96 / фирма BASF	смеси азотсодержащих соединений
KerokorLA 99	смесь жирных кислот и их производных
Dodilube – 716, 4862, 4920 / фирмы Clariant	разная химическая основа: органические кислоты в растворе легких углеводородов, полимеры на основе сложных эфиров, а также смесь этоксиалкиламинов и других азотсодержащих соединений в растворе ароматических углеводородов
серия ADX / компании Lubrizol	монокарбоновые кислоты. (одновременно как противоизносные и антикоррозионные присадки)
Байкат / ОАО «АЗКНОС»	кислоты таллового масла
Комплексал Эко-Д / НЗМП	

Присадка, имеющая комплексное действие предложена авторами [4], ее основным компонентом является диэтаноламид стеариновой кислоты, полученной по реакции:

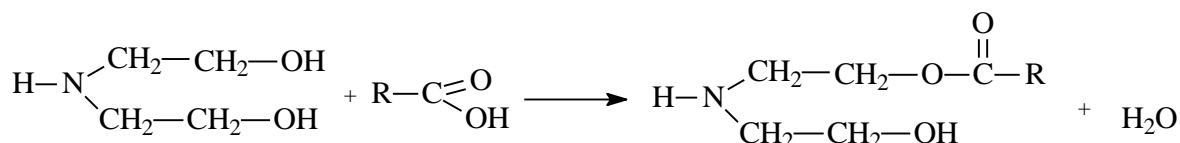


Рисунок 3 – Диэтаноламид стеариновой кислоты

Механизм действия такой присадки заключается в том, что диэтаноламид стеариновой кислоты обладая постоянным дипольным моментом, адсорбируется на металлической поверхности. Образующаяся тонкая пленка присадки уменьшает трение.

### 1.2 Цетаноповышающие присадки

Выделяют два главных типа данного рода присадок: на основе алкилнитратов (изопропилнитрат (ИПН), циклогексилнитрат (ЦГН), 2-этилгексилнитрат (ЭГН)) и на основе алкилпероксидов. Доля остальных продуктов значительно меньше. Присадки производятся двумя крупными предприятиями: ФГУП «Бийский олеумный завод» и ФКП «Завод имени Я.М. Свердлова», закрывающими потребность в данных присадках на 30...50%, остальные импортируются из Европы и Китая. Данные присадки совершенно необходимы, чтобы топливо соответствовало и внутренним нормам, и европейским стандартам.

Использование в ДТ цетаноповышающих присадок ведет к улучшению воспламеняемости топлива, обеспечивает полноту сгорания, сокращая при этом выбросы вредных веществ, облегчает запуск двигателя в зимних условиях.

Зарубежные присадки более качественные и технологичные, именно поэтому они преобладают на рынке.

Большой ассортимент цетаноповышающих присадок как западных так и российских поставщиков включает основное соединение – 2-этилгексилнитрат [9]. В качестве цетаноповышающих присадок рекомендуется использовать следующие химические вещества и их композиции: алкил(C<sub>3</sub>-C<sub>20</sub>)нитрат, полимер этилена или его сополимер с альфа-олефином C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>; непредельные жирные кислоты (группа олеиновой, линолевой, линоленовой кислот) или их амиды; алкил(C<sub>1</sub>-C<sub>25</sub>)сукцинимид, сополимер высших эфиров C<sub>6</sub>-C<sub>27</sub> акриловой или метакриловой кислоты с этиленненасыщенным мономером; окись пропилена; окиспропилированный жирный спирт C<sub>6</sub>-C<sub>16</sub> (например, продукт окиспропилирования 2-этилциклогексанола); сульфонат щелочноземельного металла, например кальция, бария, магния и т. д.; нитрат алифатического спирта C<sub>3</sub>-C<sub>18</sub>, например изопропилнитрат, циклогексилнитрат или норборнилнитрат; 2-этилгексилнитрат; пероксиды, выбранные из группы ди-трет-бутилпероксида, дикумилпероксида или кумилгидропероксида; парафиновые углеводороды нормального строения из группы C<sub>9</sub>-C<sub>20</sub> [1].

На российском рынке присутствуют, например, современные цетаноповышающие присадки Difron H 372 (производитель VATIX GROUP), «Миксент-2000» (ОАО «ВНИИ НП»), «Тотек – Цетан-МАХ» (ООО «Корпорация «Топливные технологии»), «Миксент 2000» (ООО «Русская инженерно-химическая компания»), «Миакрон – 2000» (ЗАО «НПП «Алтайспецпродукт»), 2-этилгексилнитрат (ООО «Прогрессивные решения») и др.

### 1.3 Антиокислительные присадки

Отметим, что окисление углеводородов протекает по радикальному механизму и участие нестабильных к окислению углеводородов вызывает интенсивное окисление всего топлива [2]. При окислении образуются гидропероксиды, далее образующие радикалы. Параллельно с радикальными процессами окисления и альдольной и сложноэфирной конденсацией протекает окислительная конденсация ароматических и гетероциклических соединений, а также реакция уплотнения

полициклических ароматических структур с образованием смол [2]. Именно поэтому поиск эффективных антиокислительных присадок чрезвычайно актуален.

Топливо вступает в контакт с поверхностью топливопроводов, которые содержат медь. Подтверждено, что при окислении гидропероксиды на поверхности металлической меди образуют свободные радикалы, инициирующие окисления.

В России противоизносные присадки предлагают такие производители как Clariant, BASF, Infineum, ЗАО «АЗКиОС» и др.

Обзор современных работ по разработке новых присадок

#### 2.1 Противоизносные присадки

Большое число исследований посвящено применению в качестве смазывающих присадок побочных продуктов крупнотоннажных химических производств, в частности талловых [32] и растительных масел [25], бутилового эфира рапсового масла [19] и др.

В качестве противоизносных присадок рекомендуются масла: льняное, соевое, крамбе [8].

Авторами [30] предлагаются присадки на основе 2-этилгексилнитрата, повышающие цетановое число, и противоизносные присадки на основе высших карбоновых кислот.

Американскими исследователями [27] предлагаются новые дизельные композиции, содержащей дизельное топливо и от 0,01 до 0,8% по объему глицерина, ацеталя или кеталя. Новая дизельная композиция показывает более высокое цетановое число и лучшие смазывающие свойства по сравнению с известными дизельными составами.

Синтезированы новые многофункциональные добавки на основе жирных кислот в сочетании с фосфазеновой составляющей, обеспечивающей противоизносные свойства. Установлено, что фосфазеновый эфир олеиновой кислоты является лучшей антиоксидантной добавкой [15].

Проведенный патентный анализ (табл. 1), касающийся присадок к топливу, показал, что, как правило, топливные композиции, а не отдельные противоизносные присадки, составляют большинство патентных заявок.

В основном в качестве противоизносных присадок применяются монокарбоновые кислоты и сложные эфиры. Одной из важнейших характеристик смазывающих присадок является их безвредность, а взаимодействие с другими компонентами топлива должно быть тщательно проанализировано для предотвращения неблагоприятных побочных эффектов [17].

Таблица 1

**Патентные заявки, касающиеся повышения смазывающей способности топлива**

Номер патента	Дата	Название
PCT/FR2016/052168	02.09.2016	Lubricity additive for fuel with a low sulfur content / Смазывающая добавка для топлива с низким содержанием серы
US 9 476 005 B1	25.10.2016	High-performance diesel fuel lubricity additive / Высокоэффективная присадка к дизельному топливу
US 9,745,531 B2	29.08.2017	Fuel lubricity additive / Присадка к топливной смазке
US 2018/0187110 A1	05.07.2018	Lubricity additive for fuel with a low sulphur content / Смазывающая добавка для топлива с низким содержанием серы
US 9,745,531 B2	29.08.2017	Fuel lubricity additive / Присадка к топливной смазке
US 2018/0127675	10.05.2018	Dialkylaminoalkanol friction modifiers for fuels and lubricants / Диалкиламиноалканольные модификаторы трения для топлива
US 10, 370, 611 B2	06.08.2019	Low ash lubricant and fuel additive comprising alkoxyated amine / Топливные добавки, содержащие алкоксилированные амины

В качестве нового типа противоизносных присадок предлагаются полиоксиметилендиметилловые эфиры (PODE) [22, 20]. Добавление PODE в дизельное топливо демонстрирует минимальную температуру вспышки. Влияние PODE на цетановое число, температуру застывания, теплоемкость зависит от ДТ [22].

В последние годы использованию полиоксиметилендиметилловых эфиров в качестве добавки в топливо уделяется все больше внимания в связи с их эксплуатационными характеристиками и снижением воздействием на окружающую среду. Ряд исследований показывает, что использование топливных смесей с PODE до 10% может оказать существенное влияние на сокращение выбросов двигателя. Доказано, что PODE снижает выбросы сажи, твердых частиц, CO и углеводородов при различных параметрах и условиях работы двигателя [32].

#### 2.2 Цетаноповышающие присадки

В работе [18] авторы в качестве цетаноповышающей добавки используют ди-трет-бутилпероксид (DTBP). Измерения выбросов выхлопных газов показали, что уровни NO<sub>x</sub> значительно снижены, заметны также уменьшения выбросов углеводородов и угарного газа.

Авторы [6] представляют новую добавку на основе углеводородов, (DCPD), для дизельного топлива, которая, как показано, снижает выбросы твердых частиц при одновременном повышении цетанового числа. Результаты подтверждают, что небольшая доля DCPD в дизеле может существенно повышать цетановое число, сводить к минимуму образование сажи.

Эффективное применение этилгексилнитрата в качестве цетаноповышающей добавки подтверждено в работе [24]:

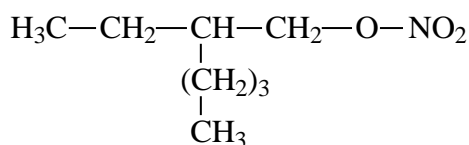


Рисунок 4 – Этилгексилнитрат

Цетаноповышающая добавка получена путем взаимодействия метилэтилового эфира длинноцепочечных жирных кислот с азотной кислотой в присутствии уксусного ангидрида в процессе нитрования, сложный эфир получен из касторового масла путем переэтерификации.

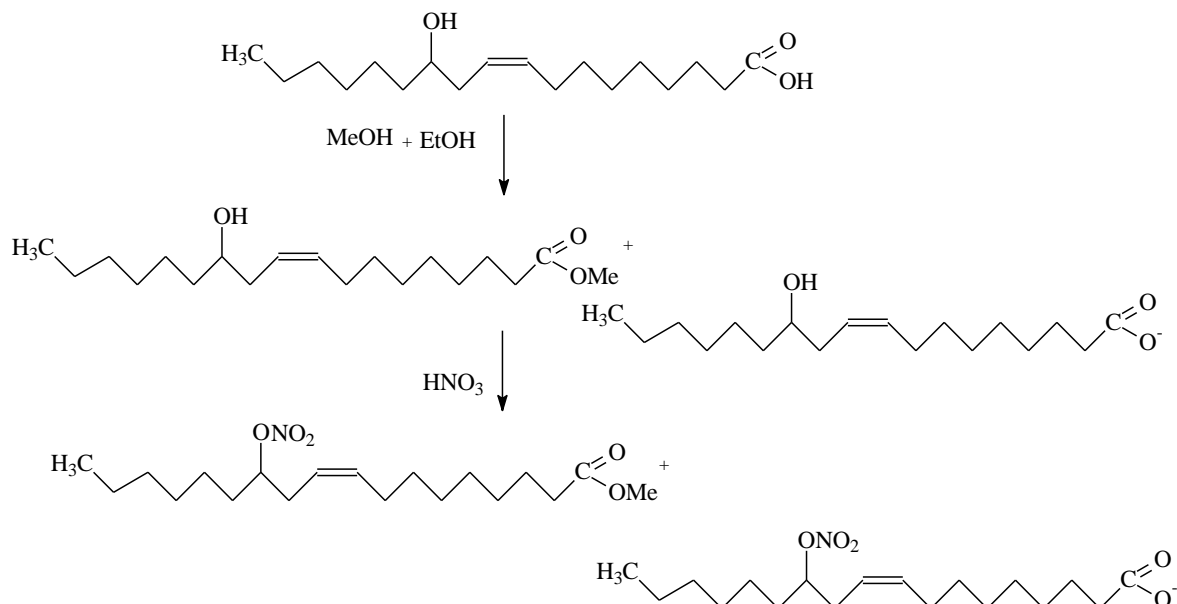


Рисунок 5 – Синтез нитрированного метилэтилового эфира касторового масла [16]

В исследовании [11] изучалось влияние таких добавок как нитроэтан (NE), нитрометан (NM) и 2-метоксиэтиловый эфир (MXEE) и металлические добавки: марганец (MN) и церий (CE). Полученные результаты доказывают, что использование дизель-этанол-(NE + MN) показывает хорошие результаты по уменьшению выбросов сажи и увеличению цетанового числа. Влияние добавки (MXEE + CE) к дизельному топливу показало один из лучших результатов среди рассмотренных присадок.

Часто в качестве присадок используется не один компонент, а состав из нескольких добавок. Авторы [31] подбирали оптимальное соотношение компонентов при использовании *n*-бутанола и 2-этилгексилнитрата (EHN). Последний компонент показал эффективный результат при использовании в качестве цетаноповышающего компонента [14].

Цетаноповышающими свойствами обладает ди-третичный бутилпероксид (DTBP) [29]. С увеличением процентного содержания DTBP выбросы оксида углерода (CO) и углеводородов значительно сократились. Снижение выбросов CO составило 17...19% и снижение выбросов углеводородов 23...25%.

Полиоксиметилен-диметилловые эфиры (PODE<sub>3-8</sub>) описаны авторами [13] как новый тип присадки к дизельному топливу, который может улучшить сгорание и значительно снизить выбросы загрязняющих веществ. Данная добавка обладает и противоизносными свойствами.

### 2.3 Антиокислительные присадки

Серосодержащие соединения могут ингибировать распад гидропероксидов. Таким образом, присутствующие в топливе серосодержащие соединения способствуют увеличению термоокислительной стабильности. Однако их снижение оказывается важным с экологической точки зрения.

В работе [12] предлагается в качестве антиокислительной присадки использование *n*-фенилендиамина. Экспериментальные исследования указывают на снижение на 15% NO за счет использования данной присадки.

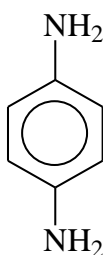


Рисунок 6 – *p*-фенилендиамин

Как известно, под стабильностью топлива подразумевается его сохранение эксплуатационных характеристик не зависимо от условий хранения, транспортировки и использования.

С целью оценки влияния серосодержащих и других гетероатомных соединений на термоокислительные свойства топлива изучалась возможность введения в топливо гексантиола-1 и дифенилсульфида. Подтверждено ингибирующее действие меркаптанов [12].

Одной из широко применяемых антиокислительных присадок является 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол [2].

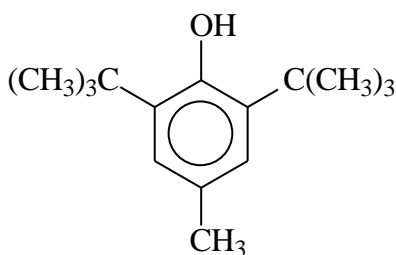


Рисунок 7 – 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол

Торговое название в России агидол-1, алкофен Б и алкофен БП, дибунол, ионол (в США), антиоксидант 4 (в Чехии), ВНТ (в Великобритании, ФРГ, Франции, Японии), топанол О и топанол ОС (в Великобритании) и др.

Комбинацию антиокислительной присадки Агидол-1 и олеиновой кислоты предлагают использовать авторы патента [23].

Использование этанола в качестве присадки к топливу в чистом неэтилированном бензине повышает производительность двигателя и снижает выбросы выхлопных газов. Поскольку биоэтанол не содержит свинца, содержит низкое содержание ароматических веществ и высокое содержание кислорода, он вызывает более полное сгорание по сравнению с обычным неэтилированным бензином. Использование биотоплива в качестве вспомогательного топлива при смешивании с неэтилированным бензином снижает загрязнение окружающей среды, укрепляет местную сельскохозяйственную экономику, создает возможности для трудоустройства и снижает спрос на ископаемое топливо [21].

Депрессорно-диспергирующая присадка на основе сополимеров этилена с винилацетатом, фактически не влияет на окисление дизельного топлива при введении до 100 ppm. При большей концентрации отмечается существенное увеличение склонности топлива к окислению [10].

Для ингибирования или уменьшения интенсивности окисления, что приводит к смолообразованию, нередко используются добавки на основе аминов. Амины обладают свойством нейтрализовать карбоновые кислоты и другие продукты окисления, чем стабилизируют дизельное топливо.

В патенте на изобретение [28] предлагаются присадки, состоящие из нонилфенольного полиэфира амина и мультиамидо-полиизобутиленамина. Данная присадка к топливу, раскрытая в настоящем изобретении, обладает хорошей способностью удалять накопленный углерод и обладает хорошими смазывающими свойствами.

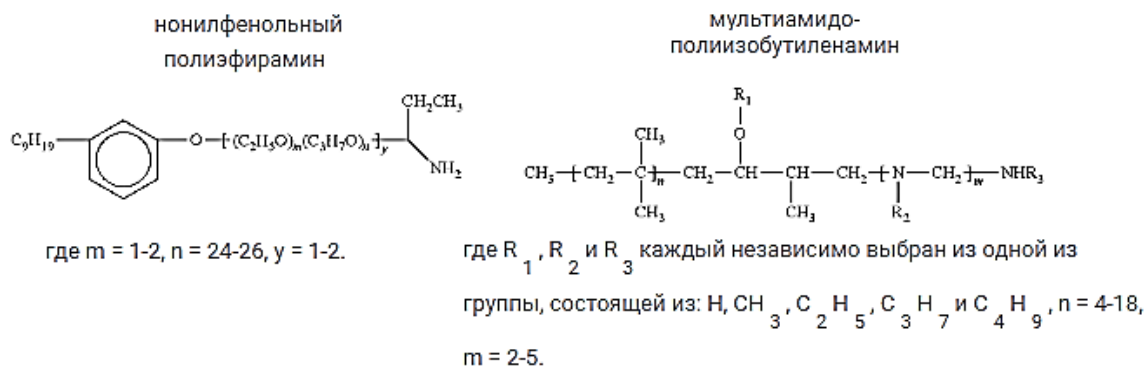


Рисунок 8 – Присадки, состоящие из нонилфенольного полиэфира амина и мультиамидо-полиизобутиленамина

Авторами [5] проведен синтез антиоксидантных и противоизносных присадок из растительного сырья [5]. Установлено, что диаметр пятна износа уменьшается в 4 раза, количество вредных выбросов снижается более чем в 30 раз. Отмечается изменение цетанового числа в зависимости от состава биодобавок (однако в отдельных случаях цетановое число снижалось и не соответствовало требованиям стандарта на дизельное топливо ГОСТ Р 52368).

В работе [26] представлены данные относительно высокой антиокислительной активности диаминометилфлороглуцина.

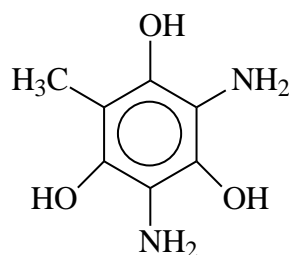


Рисунок 9 – Диаминометилфлороглуцин

Известны как компоненты антиокислительных присадок дитиофосфаты. Наиболее используемыми представителями соединений, содержащих серу и фосфорную групп, которые служат добавками, являются дитиофосфаты цинка, действующие как поглотители радикалов. Благодаря своим многофункциональным свойствам: антиокислительным, противоизносным, ингибирования коррозии. Дитиофосфаты цинка сохраняют свою доминирующую роль в качестве стандартных присадок [7].

Перспективы развития рынка присадок

Присадки к моторным топливам являются неотъемлемой их частью, однако на рынке каждый год появляются новые требования и тенденции к развитию. Рынок топливных присадок не может развиваться только в одном направлении. Все меньше требуется присадок, которые долгие годы считались основными, все больше появляется новых разработок. Специальные же присадки хоть и нужны рынку в малых объемах, зато спрос на них стабилен. Причем, в последние годы вопрос решения экологических проблем стоит достаточно остро и не мог не затронуть нефтеперерабатывающую отрасль. Ведется подбор комплексных присадок, обладающих сразу несколькими свойствами и способствующих уменьшению выбросов выхлопных газов.

Сейчас почти 100% депрессорно-диспергирующих присадок (ДДП) для дизтоплива Россия импортирует. Эффективным станет разработка комплексных присадок одновременно смазывающих и ДДП, что обеспечит получение ДТ стандарта «Евро». Основной проблемой отечественного рынка дизтоплива можно считать высокую зависимость от импорта присадок.

В мире есть 5 крупных компаний, производящих цетаноповышающие присадки: из США, Европы (Франция, Польша, Великобритания) и Индии. Россия импортирует 75...80% от общего объема потребляемых в стране присадок, что составляет порядка 120 млн. долларов. Перспективной должна стать тенденция к созданию собственных продуктов, готовых вытеснить с российского рынка импорт. Ресурсы для получения цетаноповышающих присадок есть. Например, в основе ЭГН лежит 2-этилгексанол, который активно вырабатывают предприятия ГК «Сибур». ЦГН делают на основе циклогексанола - побочного продукта при производстве капролактама.

Формирование рынка качественных, недорогих отечественных присадок для топлива станет выгодным и государству, и коммерческим предприятиям, и потребителю. Следует переходить от импорта к собственному производству, как базовых, повышающих октановое и цетановое число, присадок, так и

улучшающих потребительские свойства моторного топлива. Для этого есть все возможности, компетенции и ресурсы.

В отношении дизельного топлива отмечается рост потребления смазывающих присадок, что объясняется снижением содержания серы в топливах; увеличивается потребление multifunctionальных присадок в связи с выводом на рынок новых брендовых топлив, но снижается потребление цетаноповышающих присадок, т.к. уже базовые ДТ обладают высоким цетановым числом.

Страны, активно смешивающие ДТ и биодизель, имеют более низкую потребность в подобных присадках. Использование биотоплива, в свою очередь, создало большую потребность в некоторых добавках, среди которых: добавки для улучшения стабильности окисления в случае биодизеля или смешивания этанола; добавки для улучшения характеристик ДТ в холодных погодных условиях из-за смешивания биодизеля; ингибиторы коррозии из-за смешивания биоэтанола.

Можно предположить, что перспективным станет получение multifunctionальных присадок для бензинов и дизельного топлива с целью улучшения таких эксплуатационных характеристик как экономичность, экологичность и т.п.

Обеспечить соответствие топлива стандартам ГОСТ и «Евро» помогают цетаноповышающие присадки. Они увеличивают полноту сгорания, облегчают запуск двигателя в зимних условиях и уменьшают дымность отработавших газов. Противознозные присадки помогают восстановить смазывающие свойства. Довести до современных требований и улучшить с помощью присадок можно и остаточные нефтяные топлива: печные, котельные, судовые топлива и флотские мазуты. Там тоже есть экологические требования и нормы по содержанию серы, например.

В отношении износостойких присадок перспективным является подбор природных компонентов. Минеральное масло, служащее основой большинства присадок является экологически не безопасным, и около 30% используемых смазочных материалов поступают в экосистему. Обеспокоенность экологов по поводу опасного действия минеральных масел возрастает. Поиск экологически безопасных заменителей минерального масла в качестве основы присадок имеет перспективы. Растительные масла – альтернатива минеральным маслам за счет их технических характеристик, кроме того они обладают способностью к биоразложению.

По сравнению с минеральными маслами, растительные масла имеют высокую температуру вспышки, высокий индекс вязкости, высокую смазывающую способность, низкие потери на испарение, возобновляемы и экологически безопасны.

Плохая окислительная и гидролитическая стабильность, стоимость определяют ограниченное использование растительных масел в качестве основы противознозной присадки. В перспективе усилия по преодолению данных ограничений будут включать использование непищевых масел в присадках, химических и термических модификаций.

Во многих случаях без присадок просто не обойтись – для производства топлив, соответствующих стандартам «Евро», необходимо улучшение многих параметров. В топливе регулируется содержание ароматических углеводородов, бензола, серы, и др. Существуют некоторые комплексные присадки, действие которых направлено на улучшение нескольких параметров топлива одновременно. В общем введение присадок повышает качественные характеристики топлива, что сказывается и на экологической ситуации.

Одним из наиболее приемлемых способов снижения воздействия автотранспорта на окружающую среду может стать применение топливных присадок.

#### Список использованных источников

1. Безюков О.К., Современные присадки к дизельному топливу / Безюков О.К., Жуков В.А., Маад М.М. // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2016.– № 1 (61).– С. 28-33.
2. Гришин Д. Ф. Депрессорные, противознозные и антиокислительные присадки к гидроочищенным дизельным топливам с низким и ультранизким содержанием серы (Обзор) / Д. Ф. Гришин // НЕФТЕХИМИЯ, 2017, том 57, № 5, с. 489–502.
3. Данилов А.М. Применение присадок в топливах: Справочник. – 3-е изд., доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. – 368 с.
4. Зинина Н.Д., Тимашова А.Л., Павловская М.В., Гришин Д.Ф. // Нефтехимия. 2014. Т. 54. № 5. С. 399. [Petroleum Chemistry. 2014. V. 54. № 5. P. 392].
5. Разработка отечественной технологии получения высококачественного экологически чистого дизельного топлива // Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61. Вып. 9-10. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5651
6. Alrefaai M. M. et al. Impact of dicyclopentadiene addition to diesel on cetane number, sooting propensity, and soot characteristics //Fuel. – 2018. – Т. 216. – С. 110-120.
7. Braun, J. (2017). Additives. In Lubricants and Lubrication (eds W. Dresel and T. Mang). doi:10.1002/9783527645565.ch6
8. Determining a Rational Composition of Diesel Mixture in Terms of Antiwear Characteristics. Bychenin A.P., Volodko O.S., Ukhanova I.V., Ukhanov A.P. International Conference on Aviaemechanical Engineering and



9. Effect of adding 2-ethylhexyl nitrate cetane improver on the autoignition properties of ethanol–diesel fuel blend – Investigation at various ambient gas temperatures. Author links open overlay panel Hubert Kuszewski. *Fuel* Volume 224, 15 July 2018, Pages 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.084>.
10. Farazmand S. The effects of additives on the reduction of the pour point of diesel fuel and fuel oil / S. Farazmand, M. R. Ehsani, M. M. Shadman, S. Ahmadi, S. Veisi & E. Abdi. *Journal Petroleum Science and Technology*. Volume 34, 2016 - Issue 17-18. <https://doi.org/10.1080/10916466.2016.1200082>
11. Fayyazbakhsh A., Pirouzfard V. Investigating the influence of additives–fuel on diesel engine performance and emissions: Analytical modeling and experimental validation // *Fuel*. – 2016. – T. 171. – C. 167-177.
12. Gnanasikamani, B., Rajamanickam, S., Kasinathan, S., and Marimuthu, C., "Experimental Investigation on an EGR Based Diesel Engine Fueled with the Blend of Diesel and Plastic Oil and an Antioxidant Additive," SAE Technical Paper. *International Conference on Advances in Design, Materials, Manufacturing and Surface Engineering for Mobility* 2019-28-0079. SRM Institute of Science and Technology, Hindustan Institute of Technology and Science, 2019, <https://doi.org/10.4271/2019-28-0079>.
13. Han D. Y. et al. Influence of polyoxymethylene dimethyl ethers on diesel fuel properties // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. – 2016. – T. 38. – №. 18. – C. 2687-2692.
14. Ileri E. Experimental study of 2-ethylhexyl nitrate effects on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with n-butanol or 1-pentanol diesel–sunflower oil blends // *Energy Conversion and Management*. – 2016. – T. 118. – C. 320-330.
15. Khatri PK, Mounika Aila, Aruna Kukrety, et al. High-Performance Multifunctional Fuel Additives Derived from Renewable Fatty Acids and Phosphazene *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2017 Aug;94(8):1111-1119. DOI: 10.1007/s11746-017-3010-2.
16. Khudhair M. M. et al. Preparation of Cetane Improver for Diesel Fuel and Study It's Performance // *Al-Nahrain Journal of Science*. – 2017. – T. 20. – №. 1. – C. 42-50.
17. Małgorzata Wojtyniak, Wiesław Olszewski, Grzegorz Wronka Lubricity additives for motor fuels A
18. Musthafa M. M. Development of performance and emission characteristics on coated diesel engine fuelled by biodiesel with cetane number enhancing additive // *Energy*. – 2017. – T. 134. – C. 234-239.
19. Kondrasheva N.K., Eremeeva A.M., Nelkenbaum K.S., Baulin O.A., Dubovikov O.A. (2019) Development of environmentally friendly diesel fuel, *Petroleum Science and Technology*, 37:12, 1478-1484, DOI: 10.1080/10916466.2019.1594285
20. Omar I. Awad, Xiao Ma, Mohammed Kamil, Obed M. Ali, Yue Ma, Shijin Shuai, Overview of polyoxymethylene dimethyl ether additive as an eco-friendly fuel for an internal combustion engine: Current application and environmental impacts, *Science of The Total Environment*, Volume 715, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136849>
21. Peng, D. (2017), "Effect of unleaded gasoline blended with biofuels on gasoline injector wear and exhaust emissions", *Industrial Lubrication and Tribology*, Vol. 69 No. 2, pp. 208-214. <https://doi.org/10.1108/ILT-09-2016-0217>
22. Qi J. et al. Evaluation of polyoxymethylene dimethyl ethers as a new type of diesel additives // *Fuel*. – 2018. – T. 234. – C. 135-141.
23. RU 2 694 884 C1 Присадка противозносная к топливу для реактивных двигателей "GT-2017" Аббасов М. М., Сафиуллин А. М., Аббасов М.М. Заявка: 2018119857, 2018.05.30.
24. Sathiyamoorthi R. et al. Evaluation of neem oil biodiesel with 2-ethyl hexyl nitrate (2-EHN) as cetane improver on performance and emission characteristics of a DI diesel engine // *Int J Eng Res*. – 2018. – T. 6. – №. 2. – C. 1-4.
25. Shevchenko, E.B., Sukhanberliev, A.I., Abbasov, M.M. et al. Fatty Acids of Vegetable Oils as Components of Anti-Wear Diesel-Fuel Additives. *Russ J Appl Chem* 92, 166–169 (2019). <https://doi.org/10.1134/S10704272190100233>
26. Synthesis and study of properties of derivatives of phloroglucinolmethylviologen as antioxidant additives to oils. Aleksanyan, K. G.; Stokolos, O. A.; Yarullin, N. R.; Salmanov, S. Y.; Naletova, V. A.; Mikhailov, E. R.; Agadzhanyan, S. A // *Известия Высших Учебных Заветов. Серия Химия и Химическая Технология*. 2019, том. 62 Issue 8, p132-138. 7p.
27. US20180258356A1 Sébastien NICOLAS, Fernanda GRIGOLETTO, MARTINS Sergio, Current Assignee. Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda. Application US15/742. Publication of US20180258356A1 13.09.2018.
28. US20190218467A1 Xin Huo, Zhiyu Shi, Hung Che Cheng, Xin Sun, Sibian Ma. The listed assignees may be inaccurate. Google has not performed a legal analysis and makes no representation or warranty as to the accuracy of the list. 3M Innovative Properties Co Publication of US20190218467A1 18.07.2019.
29. Venkateswarlu K., Murthy B. S. R., Subbarao V. V. An experimental investigation to study the effect of fuel additives and exhaust gas recirculation on combustion and emissions of diesel–biodiesel blends // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2016. – T. 38. – №. 3. – C. 735-744.
30. Volgin, S.N., Belov, I.V., Likhterova, N.M. et al. Feasibility Study for Using Jet Fuel in Diesel Engines. *Химия и Технология Топлив и Масел*, № 3, с. 22 - 30 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10553-019-01027-3>

31. Zahos-Siagos I., Karathanassis V., Karonis D. Exhaust Emissions and Physicochemical Properties of n-Butanol/Diesel Blends with 2-Ethylhexyl Nitrate (EHN) or Hydrotreated Used Cooking Oil (HUCO) as Cetane Improvers //Energies. – 2018. – T. 11. – №. 12. – C. 3413.

32. Zhen Hu, Li Zhang, Yubao Li Investigation of tall oil fatty acid as antiwear agent to improve the lubricity of ultra-low sulfur diesels. Tribology International. Volume 114, October 2017, Pages 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.04.016>