УДК 665.11
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА И ЕГО КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ХРАНЕНИИ

[1]Романцова Светлана Валерьевна
[1]Гладышева Ирина Владимировна
[1]Вервекина Наталья Владимировна
[2]Нагорнов Станислав Александрович
[2]Ликсутина Анна Павловна
[3]Романцов Сергей Николаевич
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина»
[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»
[3] ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. *Альтернативные виды топлив, прежде всего синтезируемые из возобновляемого растительного сырья, становятся всё более актуальными. Стандарты, нормирующие характеристики современного экологически чистого дизельного топлива, разрешают добавление к нефтяному топливу от 6 до 20 % биодизельного топлива, синтезируемого из возобновляемого растительного или животного сырья. Эта добавка позволяет не только снизить эмиссию вредных веществ с отработавшими газами, но и повысить цетановое число и смазывающие свойства современных топлив с пониженным содержанием серы и ароматических соединений. На примере биодизельных топлив, синтезированных из масел рыжика и льна, исследовано изменение физико-химических характеристик, происходящие при хранении биодизельного топлива. Показано, что в процессе хранения в полиэтиленовом и металлическом резервуарах увеличиваются плотность и вязкость биодизельного топлива, причём в большей степени при хранении в металлическом резервуаре. Установлено, что в нормируемых пределах вязкость (3,5-5,0 мм^2/с) и плотность (860- 900 кг/м^3) биодизельного топлива сохраняется 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре; в металлическом срок хранения сокращается до 4-5 месяцев. Причиной ухудшения качества топлива являются окислительные и полимеризационные процессы. Для стабилизации предложены присадки, относящиеся к ряду пространственно-затруднённых фенолов, содержащих азогруппу. Проведены исследования процесса хранения композиций нефтяного и биодизельного топлив, содержащих от 10 до 70 % (об.) последнего (В10 – В70). Установлено, что при хранении кроме увеличения плотности и вязкости, происходит расслоение топливных композиций. При этом в первую очередь расслаиваются композиции с низким содержанием биодизельного топлива. За 5 месяцев в композициях В10 и В20 отслаивается 50 % и 40 % биодизельного топлива соответственно, процесс начался уже через 30 и 60 дней хранения. В композиции В50 отслаивание началось только после 4 месяцев хранения, к концу пятого месяца отслоилось только 4 % биодизельного топлива. Для композиции В70 расслоение не наблюдалось. Расслоение может быть связано со слабыми межмолекулярными взаимодействиями между углеводородами нефтяного топлива и молекулами биодизельного топлива, содержащими полярные сложноэфирные группы; а также с разрушением коллоидной структуры топлив.*

Ключевые слова*: биодизельное топливо, плотность, кинематическая вязкость, топливные композиции, присадки.*

CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIODIESEL FUEL AND ITS COMPOSITIONS DURING STORAGE

[1]Romantsova Svetlana
[1]Gladysheva Irina

[1]Vervekina Natalia
[2]Nagornov Stanislav
[2]Lixutina Anna
[3]Romantsov Sergey
[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tambov State University named after G.R. Derzhavin"
[2]Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture"
[3]FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. *Alternative fuels, primarily synthesized from renewable plant materials, are becoming increasingly important. The standards that regulate the characteristics of modern environmentally friendly diesel fuel allow the addition of 6 to 20% of biodiesel fuel synthesized from renewable plant or animal feedstock to petroleum fuel. This additive allows not only to reduce the emission of harmful substances with exhaust gases, but also to increase the cetane number and lubricity of modern fuels with a low content of sulfur and aromatic compounds. The changes in physicochemical characteristics that occur during storage of biodiesel fuel have been studied on the example of biodiesel fuels synthesized from camelina and flax oils. It is shown that the density and viscosity of biodiesel fuel increase during storage in polyethylene and metal tanks, and to a greater extent during storage in a metal tank. It has been established that the viscosity (3.5-5.0 mm^2/s) and density (860-900 kg/m^3) of biodiesel fuel is stored within the normalized limits for 7 months in a polyethylene tank; and the shelf life is reduced to 4-5 months in metal tank. The reason for the deterioration of fuel quality are oxidation and polymerization processes. Additives belong to a homologous series of sterically hindered phenols containing an azo group have been proposed for stabilization. Studies of the storage process of compositions of petroleum and biodiesel fuels containing from 10 to 70% (vol.) of the latter (B10 - B70) have been carried out. It has been established that stratification of fuel compositions occurs in addition to an increase in density and viscosity during storage. In this case, compositions with a low content of biodiesel fuel are stratified first. 50% and 40% of biodiesel fuel flaked off in compositions B10 and B20, respectively, for 5 months; the process began already after 30 and 60 days of storage. In composition B50, stratification started only after 4 months of storage; only 4% of the biodiesel fuel flaked off by the end of the fifth month. No stratification was observed for composition B70. The stratification may be due to weak intermolecular interactions between petroleum hydrocarbons and biodiesel molecules containing polar ester groups; as well as with the destruction of the colloidal structure of fuels.*

Keywords: *biodiesel fuel, density, kinematic viscosity, fuel compositions, additives.*

Введение. Забота о собственной продовольственной безопасности прежде всего заставляет думать об увеличении объёмов продукции сельского хозяйства, а значит, его продуктивности. В настоящее время это уже невозможно осуществить экстенсивными методами. Требуется разработка новых интенсивных методов и технологий, повышение уровня механизации сельскохозяйственных работ, следовательно, и показателей энергопотребления. Программа развития российского сельского хозяйства на ближайшее десятилетие предполагает рост потребления топливно-энергетических ресурсов. Основной вид моторного топлива, потребляемого при производстве сельскохозяйственной продукции – это нефтяное дизельное топливо. Доля нетрадиционных источников энергии (например, производимых из возобновляемых источников сырья) не превышает 2,5 %.

Углеводородное топливо, как известно, является одним из весомых источников загрязнения окружающей среды, прежде всего атмосферы вредными компонентами отработавших газов. Поэтому международные и российские стандарты и технические регламенты, определяющие эксплуатационные характеристики дизельного топлива, всё более ужесточают экологические требования, например, по содержанию ароматических и серусодержащих соединений. В Межгосударственном ГОСТ 32511-2013 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», виды топлив даже переименованы в экологические классы. Старые методы переработки нефти уже не могут обеспечить получение дизельного топлива, удовлетворяющего всё более строгим нормам.

Поэтому российские нефтеперерабатывающие заводы начали модернизацию своего оборудования и внедрение новых технологий гидрообессеривания и деароматизации, отвечающих современным экологическим требованиям [1].

Однако дизельные топлива, отвечающие высоким экологическим требованиям, имеют низкое цетановое число, неудовлетворительные смазывающие свойства (прежде всего из-за удаления органических серусодержащих соединений при гидроочистке) [2]. А усовершенствование конструкции дизельных двигателей повышает требования к дизельным топливам именно по этим показателям.

Кроме того, качество топлива может ухудшаться в процессе хранения из-за протекающих процессов окисления, полимеризации и коагуляции, что увеличивает риск поломки дорогостоящей техники, работающей на таком топливе.

Решить эти проблемы можно введением соответствующих присадок и добавок. Производство современных высокоэкологичных топлив невозможно без их использования. При этом желательно, чтобы используемые присадки и добавки были полифункциональными, т.е. влияли на несколько характеристик топлива. Добавкой, повышающей цетановое число и смазывающие свойства гидроочищенного топлива, может являться биодизельное топливо, производимое из возобновляемых растительных ресурсов. Биодизельное топливо имеет более высокие экологические характеристики: оно практически не содержит серу и ароматические соединения, выделяет при сжигании столько же углекислого газа, сколько поглотило растение в процессе своего роста, способствует более полному сгоранию топлива и снижению эмиссии угарного газа и сажи; довольно быстро разлагается микроорганизмами при проливах [3,4]. Но наличие в составе молекул этого вида топлива большого количества эфиров непредельных высших карбоновых кислот должно приводить к активному протеканию в процессе хранения реакций окисления и полимеризации.

Изменение физико-химических характеристик самого биодизельного топлива и топливных композиций, включающих нефтяное и биодизельное топлива, к настоящему времени до конца не изучены.

Цель работы – исследование зависимости физико-химических характеристик биодизельного топлива и топливных композиций от времени хранения.

Экспериментальная часть. Для синтеза биодизельного топлива в качестве сырья использовали масла рыжика и льна; используя методы органического синтеза проводили реакцию трансэтерификации с метиловым спиртом в присутствии гидроксида калия в качестве гомогенного катализатора. Определение физико-химических характеристик биодизельного топлива и топливных композиций проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52368-2005 и ГОСТ 33131-2014. Для определения оптической плотности образцов использовали фотоэлектроколориметр Apel AP101.

Результаты и их обсуждение. Физико-химические свойства любых органических соединений зависят от их состава. Молекулы биодизельного топлива представляют собой сложные эфиры спирта метанола и алифатических кислот, в молекулах которых содержится от 14 до 24 атомов углерода. Радикалы кислот могут быть предельными и непредельными (содержащими до четырёх двойных связей). Если биодизельное топливо получено из растительного масла, непредельные радикалы преобладают. Так, в изучаемом биотопливе, синтезированном из масла рыжика, преимущественно присутствуют метиловые эфиры линолевой кислоты (C18:2), содержащей 18 атомов углерода и две двойные связи (32 %) и эруковой кислоты (C22:1), в молекуле которой 22 атома углерода и одна двойная связь (42 %). Также довольно велика доля остальных кислот с большим числом атомов углерода (C22:0; C22:2; C24:0; C24:1) – суммарно около 16 %. Кислот с числом атомов углерода от 14 до 16 сравнительно немного (чуть менее 4 %), оставшиеся 6 % приходятся на стеариновую (C18:0) и олеиновую (C18:1) кислоты. Тяжелый молекулярный состав приводит к высоким значениям физико-химических зарактеристик: вязкость при 40 °C составляет 6,38 мм^2/с; плотность при 15 °C равна 895 кг/м^3.

В биодизельном топливе, синтезированном из льняного масла, практически отсутствуют кислоты с очень длинной углеродной цепью – только 2 % арахидоновой кислоты (C20:4). Самая

большая доля приходится на линолевую (С18:2) и линоленовую (С18:3) кислоты – 24 и 47 % соответственно. На миристиновую и пальмитиновую кислоты (С14:0) и (С16:0) суммарно приходится 16 %, а оставшиеся 11 % на стеариновую (С18:0) и олеиновую (С18:1) кислоты. Различия в молекулярном составе определяют и отличие физико-химических характеристик: вязкость при 40 °С составляет 4,44 мм^2/с; плотность при 15 °С равна 890 кг/м^3.

Видно, что биодизельные топлива содержат много непредельных соединений: 89 % для МЭРжМ и 81 % для МЭЛМ, при этом доля полиеновых кислот (содержащих в радикале от двух до четырёх двойных связей) также очень велика – 82 и 73 % соответственно. Такие кислоты легко вступают в реакции окисления и полимеризации, что может привести к ухудшению свойств биодизельных топлив в процессе хранения.

В таблице 1 представлены результаты хранения исследуемых биодизельных топлив в полиэтиленовом и металлическом резервуарах

Таблица 1 – Изменение плотности и кинематической вязкости биодизельного топлива (МЭРжМ и МЭЛМ) при хранении

Месяцы	биодизельное топливо из масла рыжика				биодизельное топливо из масла льна			
	Плотность при 15 °С, кг/м^3		Вязкость при 40 °С, мм^2/с		Плотность при 15 °С, кг/м^3		Вязкость при 40 °С, мм^2/с	
	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл	полиэтилен	металл
0	895	895	6,38	6,38	890	890	4,23	4,23
1	895	896	6,38	6,39	890	891	4,24	4,25
2	896	897	6,55	6,58	891	892	4,41	4,44
3	896	898	6,72	6,89	891	893	4,58	4,75
4	897	899	6,89	7,16	892	894	4,75	5,02
5	897	900	6,95	7,27	892	895	4,81	5,13
6	898	901	7,05	7,52	893	896	4,91	5,32
7	899	902	7,16	7,68	894	897	5,02	5,54
8	900	903	7,24	7,92	895	898	5,10	5,78
9	901	904	7,32	8,16	896	899	5,18	6,02
10	901	905	7,41	8,37	896	900	5,27	6,23
11	902	907	7,47	8,42	897	902	5,31	6,28
12	903	908	7,52	8,55	897	903	5,37	6,41
13	904	910	7,54	8,66	898	905	5,41	6,52
14	905	912	7,62	8,81	898	907	5,48	6,67
15	905	914	7,69	8,92	899	909	5,55	6,78

Из полученных данных видно, что и плотность и вязкость биодизельного топлива при хранении увеличиваются, особенно в металлическом резервуаре, катионы металла, вероятно, играют роль катализатора окислительных процессов.

Вязкость биодизельного топлива, нормируемая при 40 °С, должна составлять 3,5-5,0 мм^2/с. Видно, что в нормируемых пределах вязкость МЭЛМ сохраняется 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре и всего 4 месяца в металлическом. Вязкость биодизельного топлива, синтезированного из рыжикового масла, изначально выше той, что требует ГОСТ. Следовательно, его можно использовать только совместно с нефтяным дизтопливом как компонент топливной композиции с высокими экологическими и эксплуатационными характеристиками.

Плотность биодизельного топлива в соответствии с ГОСТ должна находиться в пределах от 860 до 900 кг/м^3. Видно, что в полиэтиленовом резервуаре даже топливо, содержащее тяжёлые компоненты, можно хранить 7-8 месяцев, а в металлическом резервуаре – не более 5 месяцев.

Увеличение плотности и вязкости биодизельного топлива связано с тем, что в процессе хранения сложноэфирные молекулы биодизельного топлива подвергаются атаке активных форм кислорода: пероксидными или гидропероксидными радикалами, образующимися в топливе. Вероятно, радикал взаимодействует с атомом углерода, находящимся в α-положении к углероду, связанному двойной связью. Именно такое направление атаки позволяет получить в результате

новый радикал, при этом неподелённый электрон сопрягается с π-электронной плотностью двойной связи, что стабилизирует образующуюся радикальную частицу (рис. 1).

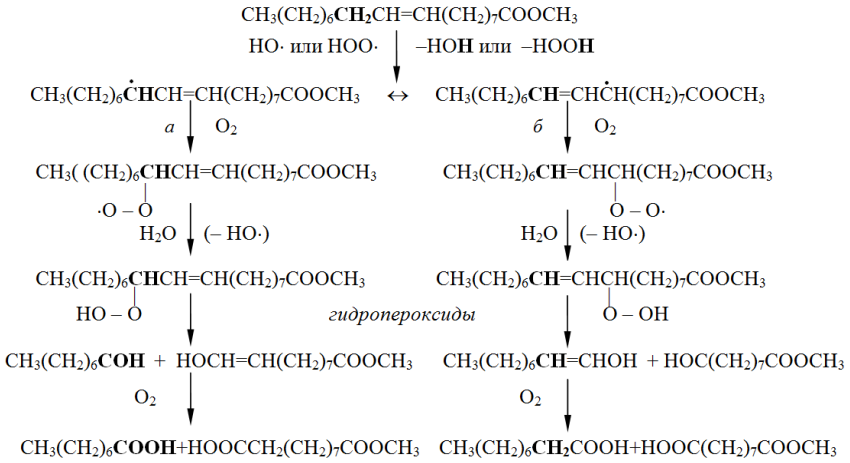


Рисунок 1 – Схема пероксидного расщепления компонента биодизельного топлива – метилового эфира олеиновой кислоты

Далее процесс окисления может протекать по двум направлениям (рис.1, пути а и б) с образованием нестабильных гидропероксидов, которые распадаются с образованием альдегидов. Альдегидная группа легко подвергается дальнейшему окислению с образованием карбоновых кислот. Конечными продуктами могут быть монокарбоновые кислоты или метиловые эфиры дикарбоновых кислот с более короткими углеродными цепями.

Катионы металлов, присутствующие на поверхности стенок металлических резервуаров, способствуют образованию радикальных частиц по уравнениям 1-3 [5]:

$$ROOH + Me^{n+} \rightarrow RO^{\cdot} + OH^{-} + Me^{(n+1)+} \quad (1)$$

$$ROOH + Me^{(n+1)+} \rightarrow RO_2^{\cdot} + H^{+} + Me^{n+} \quad (2)$$

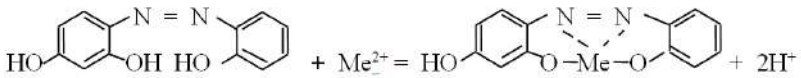
$$2ROOH \rightarrow RO^{\cdot} + RO_2^{\cdot} + H_2O \quad (3)$$

Чтобы повысить стабильность биодизельного топлива в процессе хранения в металлическом резервуаре, целесообразно вводить в состав таких топлив присадки, способные останавливать радикальные реакции и, желательно, связывать катионы металлов, ведь топливо хранится, преимущественно, в металлических резервуарах.

Антиокислительные присадки для нефтяных топлив широко известны, чаще всего в этой роли выступают пространственно-затруднённые фенолы или амины. Они вступают в реакцию с радикалом с образованием инертных продуктов реакции. Образовавшийся радикал сопрягается с развитой ароматической π-электронной системой фенола и образовавшийся в результате реакции радикал стабилизируется настолько, что теряет свою реакционную способность.

Для биодизельного топлива присадок предлагается меньше, например бисфенол, фенилендиамины, 2,6-ди-трет-бутилгидрокситолуол, ионол [6,7].

Нами предлагаются в качестве антиокислительных присадок соединения, которые также можно отнести к стерически затруднённым фенолам. Это производные азобензола, содержащие две гидроксильные группы в орто-положениях к азогруппе и дополнительные функциональные группы в ароматических кольцах. Они также обладают развитой π-электронной системой, а также могут вступать в реакции комплексообразования с катионами переходных металлов (4):



(4)

Лучшие результаты показал тригидроксиазобензол, содержащий три гидроксильных группы.

Действие присадки оценивали методом ускоренного окисления в присутствии медной пластинки при повышенной температуре. Катион меди является ещё более эффективным катализатором окислительных реакций, чем катионы железа.

Введение присадки способствует повышению химической и физической стабильности как нефтяных, так и биодизельных топлив при хранении.

Так, без присадки в ходе опыта плотность биодизельного топлива увеличилась на 6 единиц, а в присутствии присадки – только на одну. Увеличение вязкости топлива без присадки составило 19 %, а в присутствии присадки 8 %. В присутствии присадки в биодизельном топливе не образовывался осадок. То есть она предотвращает не только окислительные, но и коагуляционные процессы.

Как было показано, биодизельное топливо, имеющее в составе высокомолекулярные компоненты с высокой степенью непредельности, целесообразно использовать в составе топливной композиции.

Были приготовлены топливные композиции В10, В20, В50 и В70 как смеси нефтяного дизельного топлива и метилового эфира рыжикового масла (МЭРжМ), в которых содержание эфиров составляло, соответственно, 10%, 20%, 50% и 70% (об.). Стеклянные цилиндры с топливными композициями выдерживали при комнатной температуре в темном помещении и на свету с доступом кислорода. Периодически топливные композиции осматривали и фиксировали наблюдаемые изменения.

Через 20 суток в композиции В10, которая хранилась на свету, началось расслоение топлива, в нижней части цилиндра образовался слой светло-желтой жидкости, вероятно, МЭРжМ, плотность которого намного выше (при 25 °С 892 кг/м^3), чем у нефтяного топлива (815 кг/м^3). Объём отслоившегося биодизельного топлива составил примерно 15 % (об.) от количества, введённого в композицию В10. Все остальные композиции, хранившиеся как на свету, так и в темноте, остались гомогенными.

Через 60 суток количество биодизельного топлива, отслоившегося в композиции В10, увеличилось до 20 % и проявилось расслаивание в композиции В20, составившее 5 % от количества, изначально введённого в смесь. Остальные образцы к этому времени не претерпели никаких видимых изменений. К концу третьего месяца хранения на свету в композиции В 10 в виде отдельного слоя находилось уже 30 % биодизельного топлива, а в композиции В 20 – 10 %. За 5 месяцев хранения на свету в композициях В10 и В20 количество отслоившегося МЭРжМ составило 50 % и 40 % соответственно, в композиции В50 отслаивание стало заметным только после 4 месяцев хранения, к концу пятого месяца отслоилось 4 % биодизельного топлива. Для композиции В70 расслоение не наблюдалось. К пяти месяцам хранения стало заметным расслоение и в образцах, хранившихся в темноте. Для композиций В10 и В20 количество отслоившегося МЭРжМ составило 20 % и 10 % соответственно.

Товарное нефтяное дизтопливо в течение пятого месяца хранения приобрело интенсивную жёлтую окраску, а на дне образовался слой красно-коричневого осадка. При хранении в темноте изменение цвета не наблюдается. Оптическая плотность этого топлива при 420 нм до начала эксперимента составляла 0,094, а после пяти месяцев хранения – 0,232; при 460 нм эти величины составляют 0,062 и 0,160 соответственно. Очень сильно изменились за 5 месяцев плотность и вязкость нефтяного топлива: плотность при 25 °С увеличилась с 816 до 823 кг/м^3, кинематическая вязкость при 40 °С с 2,36 до 2,71 мм^2/с. Углубление окраски и увеличение плотности и вязкости, вероятно, связано с протеканием процессов окисления и полимеризации. Образование осадка может иметь две основные причины – протекание процессов коагуляции продуктов окисления и осаждения многочисленных присадок. В работе [8] авторы наблюдали процесс перераспределения присадки по высоте резервуара, через 60 дней хранения смазывающая способность современного гидроочищенного топлива, отобранного сверху, из середины и снизу резервуара заметно отличалась (средний диаметр пятна износа составлял 294, 325 и 390 мкм соответственно). Возможно, и в нашем случае мы наблюдали совместное действие этих факторов. Такж, необходимо учитывать, что нефтяное топливо представляет собой коллоидную систему, где дисперсионную среду составляют предельные и непредельные углеводороды, а дисперсной фазой

являются природные высокомолекулярные гетероатомные соединения, присадки и вода. Между неполярными молекулами углеводородов возможен только единственный тип взаимодействий – силы Ван-дер-Ваальса. Ориентационная составляющая сил Ван-дер-Ваальса пропорциональна величине дипольного момента в четвёртой степени, а индукционная – второй степени. Продукты окисления являются полярными соединениями, обладающими заметным дипольным моментом, поэтому их образование существенно отражаются на межмолекулярных взаимодействиях. Между полярными продуктами окисления возможны более прочные связи – электростатичечские, водородные. Их образование и приводит к разрушению коллоидной структуры топлива и образованию осадка.

Биодизельные топлива также представляют собой коллоидные олеодисперсные системы. Их молекулы имеют длинный неполярный углеводородный радикал и полярную сложноэфирную группу. При смешивании неполярных углеводородов нефтяного топлива и амфифильных молекул сложных эфиров биодизельного топлива возникают слабые гидрофобные взаимодействия за счёт сил Ван-дер-Ваальса. Протекание окислительных процессов с образованием более полярных продуктов и приводит к расслоению топливных композиций, в первую очередь тех, где содержание биодизельного топлива невелико.

Заключение.

Синтезированы биодизельные топлива по реакции трансэтерификации, сырьём служили масла рыжика и льна. Показано, что при хранении биодизельного топлива как в полиэтиленовом, так и в металлическом резервуарах, его плотность и вязкость увеличиваются. Это происходит за счёт образования продуктов окисления при действии радикальных пероксидных и гидропероксидных частиц. Катионы металлов, в том числе железа, присутствующие на поверхности стенок металлических резервуаров, способствуют образованию радикальных частиц и ускорению процессов окисления.

В нормируемых пределах вязкость (3,5-5,0 мм^2/с) и плотность (860- 900 кг/м^3) биодизельного топлива сохраняются 7 месяцев в полиэтиленовом резервуаре; в металлическом срок хранения сокращается до 4-5 месяцев.

Для стабилизации предложены присадки, относящиеся к ряду пространственно-затруднённых фенолов, содержащих азогруппу. В присутствии тригидроксиазобензола в процессе хранения плотность и вязкость увеличиваются, но в меньшей степени, чем в топливе без присадки. Например, увеличение вязкости топлива без присадки составило 19 %, а в присутствии присадки 8 %. В присутствии присадки в биодизельном топливе не образовывался осадок, замедляются и процессы коагуляции.

Биодизельное топливо, имеющее в составе высокомолекулярные компоненты с высокой степенью непредельности, обладает высокой вязкостью, поэтому его целесообразно использовать в составе топливной композиции. Такие композиции с содержанием биодизельного топлива, 10%, 20%, 50% и 70% (В10 – В70) были созданы и исследованы при хранении в темноте и на свету.

При хранении кроме увеличения плотности и вязкости, происходит расслоение топливных композиций. При этом в первую очередь расслаиваются композиции с низким содержанием биодизельного топлива, хранящиеся на свету; композиции В50 и В 70 более устойчивы.

Расслоение может быть связано со слабыми межмолекулярными взаимодействиями между углеводородами нефтяного топлива и молекулами биодизельного топлива, содержащими полярные сложноэфирные группы; а также с разрушением коллоидной структуры топлив.

Список литературы

1. Зуйков А.В., Чернышева Е.А., Сидоров Ю.В. Особенности производства малосернистого дизельного топлива с низким содержанием полициклических ароматических углеводородов // Нефтепереработка и нефтехимия, 2013. – № 1. – С. 11-16.

2. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел, 2014. – № 5 (585). – С. 31-35.

3. Романцова С.В., Зазуля А.Н., Левин М.Ю. Синтез компонента дизельного топлива, улучшающего его экологические характеристики // Наука в центральной России, 2014. – № 4(10). – С. 27-33.

4. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Марков В.А., Са Бовэнь, Бебенин Е.В. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив для сельскохозяйственных машин // Аграрный научный журнал, 2020. – № 12. – С. 90-92.

5. Саблина З.А. Состав и химическая стабильность моторных топлив – М.: Химия, 1972. – 279 с.

6. Method and apparatus for monitoring structural health: пат. № 2006/0219979 US: A1, C09K 15/04 / Ghoshal A., Zangor R., Chaudhry Z.A., Schaff J.R., Davis M.W. – опубл. 05.10.2006.

7. Применение 2,6-ди-трет-бутилгидрокситолуола для повышения стабильности дизельного биотоплива при хранении: пат. №2340655 Рос. Федерация: C10L 1/183 / Ингендо А., Ротер К., Хайзе К.-П. – опубл. 10.12.2008

8. Нурмухаметова Э.Р., Фатхутдинова Э.Н., Сидоров Г.М., Осипенко Д.Ф. Исследование влияния длительного хранения дизельного топлива на эксплуатационные характеристики // Modern high technologies, 2018. – № 9. – С. 88-92.

References

1. Zuykov A.V., Chernysheva Ye.A., Sidorov YU.V. Osobennosti proizvodstva malosernistogo dizel'nogo topliva s nizkim soderzhaniyem politsiklicheskikh aromaticheskikh uglevodorodov // Neftepererabotka i neftekhimiya, 2013. – № 1. – S. 11-16.

2. Danilov A.M. Prisadki k toplivam kak resheniye khimmotologicheskikh problem // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel, 2014. – № 5 (585). – S. 31-35.

3. Romantsova S.V., Zazulya A.N., Levin M.YU. Sintez komponenta dizel'nogo topliva, uluchshayushchego yego ekologicheskiye kharakteristiki // Nauka v tsentral'noy Rossii, 2014. – № 4(10). – S. 27-33.

4. Nagornov S.A., Romantsova S.V., Markov V.A., Sa Boven', Bebenin Ye.V. Uluchsheniye ekspluatatsionnykh svoystv dizel'nykh topliv dlya sel'skokhozyaystvennykh mashin // Agrarnyy nauchnyy zhurnal, 2020. – № 12. – S. 90-92.

5. Sablina Z.A. Sostav i khimicheskaya stabil'nost' motornykh topliv – M.: Khimiya, 1972. – 279 s.

6. Method and apparatus for monitoring structural health: pat. № 2006/0219979 US: A1, C09K 15/04 / Ghoshal A., Zangor R., Chaudhry Z.A., Schaff J.R., Davis M.W. – opubl. 05.10.2006.

7. Primeneniye 2,6-di-tret-butilgidroksitoluola dlya povysheniya stabil'nosti dizel'nogo biotopliva pri khranenii: pat. №2340655 Ros. Federatsiya: C10L 1/183 / Ingendo A., Roter K., Khayze K.-P. – opubl. 10.12.2008.

8. Nurmukhametova E.R., Fatkhutdinova E.N., Sidorov G.M., Osipenko D.F. Issledovaniye vliyaniya dlitel'nogo khraneniya dizel'nogo topliva na ekspluatatsionnyye kharakteristiki // Modern high technologies, 2018. – № 9. – S. 88-92.

Сведения об авторах:

Принадлежность к организации

Романцова Светлана Валерьевна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Гладышева Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Вервекина Наталья Владимировна – кандидат химических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный университет им Г.Р. Державина», Россия, г. Тамбов, e-mail: vervekinanv@mail.ru.

Нагорнов Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Ликсутина Анна Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский

научноисследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniitinlab7@yandex.ru

Романцов Сергей Николаевич – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: r.s.n.1996@yandex.ru.

Affiliation

Romantsova Svetlana – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: svromantsova@yandex.ru.

Gladysheva Irina – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: gladysheva_irina78@mail.ru.

Vervekina Natalia – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State University named after G.R. Derzhavin», Russia, Tambov, e-mail: vervekinanv@mail.ru.

Nagornov Stanislav – Full Doctor of Technical sciences, Professor, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: snagornov@yandex.ru.

Lixutina Anna – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Science of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab7@yandex.ru.

Romantsov Sergey – undergraduate of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: r.s.n.1996@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.05.2022