

## РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Н.К. Кондрашева, А.М. Еремеева, К.С. Нелькенбаум

Наталья Константиновна Кондрашева \*, Анжелика Михайловна Еремеева

Кафедра химических технологий и переработки энергоносителей, Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21 линия, 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 199106

E-mail: natalia\_kondrasheva@mail.ru \*, eremeevaanzhelika@rambler.ru

Константин Савельевич Нелькенбаум

Институт нефтехимии и катализа РАН, просп. Октября, 141, Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация, 450075

E-mail: fox@web-rb.ru

*Проведены исследования, связанные с разработкой наилучшего состава и получением экологически чистого дизельного топлива, соответствующего классу ЕВРО-5 и ЕВРО-6, путем введения в базовое гидроочищенное дизельное топливо противоизносных биодобавок. Проведен анализ современных допущенных к использованию в России противоизносных присадок отечественного и зарубежного производства, таких производителей как Clariant, BASF, Infineum, ОАО «АЗКуОС» и других, а также рассмотрены основные показатели эффективности действия данных присадок на дизельное топливо. Проведен синтез противоизносных биодобавок и антиокислительных присадок из растительного сырья путем процесса переэтерификации, а также разработана технология получения азот- и кислородсодержащих соединений, обладающих поверхностно активными свойствами. Выявлены оптимальные технологические параметры процесса переэтерификации (время, температура, скорость, соотношение сырья). Изучено влияние полученной биодобавки на эксплуатационные и низкотемпературные свойства гидроочищенного дизельного топлива. Анализ положительного воздействия присадок на смазывающие свойства топлива показал, что диаметр пятна износа снижается в 4 раза, количество вредных выбросов (оксидов углерода, дисперсных частиц, летучих органических соединений и углеводородов) снижается более чем в 30 раз. Также наблюдалось понижение температуры застывания и изменение цетанового числа в зависимости от состава биодобавки (при введении одних, цетановое число понижалось и переставало соответствовать требованиям стандарта на дизельное топливо ГОСТ Р 52368, при введении других, наоборот, увеличивалось). Отличительной особенностью данного вида топлива является содержание минимального количества серы в своем составе, и одновременно соответствие характеристик всем требованиям ГОСТ.*

**Ключевые слова:** дизельное топливо, присадки, биодобавки, смазывающая способность, экологически чистое

## DEVELOPMENT OF DOMESTIC TECHNOLOGIES OF PRODUSING HIGH QUALITY CLEAN DIESEL FUEL

N.K. Kondrasheva, A.M. Eremeeva, K.S. Nelkenbaum

Natalia K. Kondrasheva\*, Anzhelika M. Eremeeva

Department of Chemical Engineering and Energy Carriers Processing, Saint-Petersburg Mining University,  
21<sup>st</sup> line, 2, St Petersburg 199106, Russia

E-mail: natalia\_kondrasheva@mail.ru \*, eremeevaanzhelika@rambler.ru

Konstantin S. Nelkenbaum

Institute of Petrochemistry and Catalysis of RAS, ave. Octyabrya, 141, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia,  
450075

E-mail: fox@web-rb.ru

*The researches related to the development of the best composition and production of environmentally friendly diesel fuel, compliance with the EURO-5 and EURO-6 class, by introducing antiwear additives into the base hydrotreated fuel were conducted. The analysis of modern assumptions to the use in Russia of anti-wear additives of domestic and foreign manufacturers, such manufacturers as Clariant, BASF, Infinéum, JSC "AZKiOC" and others was carried out, and also the main results of efficiency of use of additives for diesel fuel are considered. The synthesis of antiwear additives and antioxidant additives from plant raw materials through the process of transesterification was carried out, as well as the technology of obtaining nitrogen and oxygen-containing compounds with surface active properties was developed. The optimal technological processes of the transesterification process (time, temperature, rate, ratio of raw materials) were revealed. The effect of the obtained bioadditives on the operational and low-temperature properties of hydrotreated diesel fuel was studied. Analysis of the positive effect of additives on lubricating properties of fuel showed that the diameter of the wear spot is reduced by a factor of 4, the amount of harmful emissions (carbon oxides, dispersed particles, volatile organic compounds and hydrocarbons) is reduced by more than 30 times. Also, a decrease in the pour point and change in the cetane number was observed, depending on the composition of the bioadditives (in some cases, the cetane number decreased and ceased to meet the requirements of the standard for diesel fuel GOST R 52368, while others, on the contrary, increased). A distinctive feature of this type of fuel is the maintenance of the minimum amount of gray in your composition, and at the same time compliance with all requirements of GOST.*

**Key words:** diesel fuel, additives, supplements, lubricity, environmentally friendly

### Для цитирования:

Кондрашева Н.К., Еремеева А.М., Нелькенбаум К.С. Разработка отечественной технологии получения высококачественного экологически чистого дизельного топлива. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 9-10. С. 76–82

### For citation:

Kondrasheva N.K., Eremeeva A.M., Nelkenbaum K.S. Development of domestic technologies of produsing high quality clean diesel fuel. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 9-10. P. 76–82

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных проблем в России является недостаточно высокое качество товарных моторных топлив. Это обусловлено сразу несколькими причинами: во-первых, низкое качество сырой нефти, идущей на переработку; во-вторых, низкая глубина переработки, которая в среднем по России составляет порядка 72%, против 95% в европейских странах и США; в-третьих, узкий круг отечественных производителей сопутствующей топливам продукции, которая необходима для доведения их до требуемых нормами стандартов, в частности присадок и добавок [1-3].

Большинство присадок и добавок, допущенных к применению в России, имеют очень высокую стоимость и импортируются из-за рубежа (Германия, Швейцария, США и др.). В современной политико-экономической ситуации целесообразным является разработка технологии получения присадок и добавок к моторным топливам, в частности, к дизельным, из отечественных видов сырья [9-12].

При получении дизельного топлива высшего экологического стандарта на современных нефтеперерабатывающих предприятиях используют установки гидроочистки, гидродепарафинизации, гидродеароматизации, гидрокрекинга и др.,

целевым назначением которых является очистка исходного сырья (прямогонной дизельной фракции) от различных сернистых соединений, металлов и др. примесей. Очистка происходит за счет введения водорода (водородсодержащего газа) в сырье при оптимальных температурах и высоком давлении (до 5-20 МПа), при этом кроме целевой разрушаются связи С-S, С-N и С-O, а также металлопорфириновые. На выходе получают целевой продукт - гидрогенизат (очищенное топливо), а S, N, O выходят с установки в виде газов - H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>O [15, 16].

На данный момент в России и в мире под топливом высшего экологического стандарта или экологически чистым дизельным топливом принято понимать дизельное топливо с пониженным содержанием серы (не более 10 ppm – ЕВРО 5) или полным отсутствием серы.

Главный нормативный документ, по стандартам которого на сегодняшний день производятся дизельные топлива в России, – это ГОСТ 305 «Топливо дизельное. Технические условия». Он содержит такие пункты, как марки (виды) данного топлива, технические требования, требования безопасности, правила приема дизельного топлива и т.д. По ГОСТ 305 вырабатываются летнее, зимнее и арктическое топлива [7].

Кроме того, на территории РФ действует ГОСТ Р 52368 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», соответствующий требованиям Европейского стандарта EN 590 по всем показателям. Этот нормативный документ ограничивает содержание серы в дизельном топливе до 350 ppm (Евро 3), 50 ppm (Евро 4) и 10 ppm (Евро 5), а цетановое число, наоборот, увеличивает до 51 ед. (против не менее 45 ед. по ГОСТ 305) [8, 17].

В условном обозначении топлива по ГОСТ Р 52368 указывают его сорт или класс в зависимости от значений предельной температуры фильтруемости (для класса и температуры помутнения) и вид топлива – от содержания серы.

Требования к дизельному топливу по ГОСТ Р 52368 и качество базового гидроочищенного дизельного топлива (Г/О ДТ) приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Требования и фактические показатели качества дизельного топлива**  
**Table 1. Requirements and actual indicators of diesel fuel quality**

Показатель	Минимум	Максимум	Г/о ДТ
Цетановое число, ед.	51	-	51
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	-	860	854
Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,0	4,5	2,79
Температура вспышки, °С	40	-	80
Смазывающая способность, мкм	-	460	443
Содержание серы (3 вид), мг/кг	-	10	8
Температура помутнения, °С	-	-5	-9
Температура застывания, °С	-	-10	-17
Фракционный состав, °С			
50% перегоняется при температуре, не выше		280	279
95% перегоняется при температуре, не выше		360	330

К применению в малосернистых дизельных топливах, отвечающих требованиям EN-590, допущен ряд отечественных (табл. 2) и зарубежных (табл. 3) противоизносных присадок (добавок) [18].

Активным компонентом всех отечественных противоизносных присадок является смесь карбоновых кислот растительного происхождения, тщательно очищенная от посторонних примесей [4, 5, 13]. Но данный состав присадок оказывает негативное влияние на окислительную стабильность и коррозионную стойкость топлива. Следовательно, данные присадки необходимо использовать совместно с антиокислительными и антикоррозионными присадками, что, в свою очередь, приведет к увеличению себестоимости топлива.

Основным компонентом зарубежных противоизносных присадок является смесь не только карбоновых кислот, но и производных от них эфиров [19].

Таблица 2

**Отечественные противоизносные присадки, допущенные к применению в России**  
**Table 2. Domestic anti-wear additives approved for use in Russia**

Производитель	Противоизносные биодобавки			
	Байкат	Комплексал-ЭКО «Д»	Миксент 2030	АддиТОП СМ
Показатель	ОАО «АЗКиОС»	ООО «Новок. завод масел и присадок»	ООО «Алтайск. центр прикл. химии»	«НТЦ Салават-нефтеоргсинтез»
Содержание серы, ppm	3	11	16	50
Диаметр пятна износа, мкм	215	326	341	272

Таблица 3

## Зарубежные противоизносные присадки, допущенные к применению в России

Table 3. Foreign anti-wear additives approved for use in Russia

Показатель	Противоизносные биодобавки				
	Керокорр LA 99C BASF	Dodilube 4940 Clariant	PC 32 Total	Hitec 4140A Afton Chemical Corporation	R690 Infineum
Содержание серы, ppm	12	9	15	7	2
Диаметр пятна износа, мкм	400	307	330	382	201

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Самым распространенным и пригодным сырьем для производства биодобавок являются растительные масла. Основные используемые виды масел и их характеристики представлены в табл. 4.

Синтез эфира осуществляли путем проведения реакции переэтерификации триглицеридов растительного масла различными спиртами следующим образом. В трехгорлой колбе объемом 250 мл готовили смесь реагентов: спирт и растительное масло. Масло брали в объеме 112 мл, спирт – 62 мл (мольное соотношение спирт: масло равно 6 : 1, массовое – 1 : 2,06). В трехгорлую колбу помещали мешалку, устанавливали обратный водяной холодильник и ртутный термометр. Колбу ставили на песчаную баню. Интенсивность перемешивания регулировали на мешалке 250 об/мин. Нагрев и перемешивание начинали одновременно. После нагревания масла к нему приливали спирт и катализатор, отмеренный пипеткой [6, 14].

Переэтерификацию растительного масла спиртом проводили при температуре 195 °С. Выбор температуры обусловлен следующими соображениями: при более низких температурах реакция протекает очень медленно, более высокие температуры требуют повышения давления, так как температура кипения двухатомного спирта 197 °С. Продолжительность опытов составляла 240 мин.

По окончании опытов смесь продуктов остужали, давали отстояться в течение 2 дней, затем разделяли фазы – эфирную и глицериновую. Основная часть кислоты после проведения реакции концентрируется в глицериновой фазе. Оставшуюся в эфирной фазе часть кислоты нейтрализовали карбонатом натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Затем несколько раз эфир промывали горячей водой, и разделяли на слои. После чего в делительной воронке отделяли эфир от воды. Далее обезвоженный  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  добавляли к отделенному эфиру для удаления возможно оставшейся воды и ждали около 60 мин, после чего проводили фильтрацию.

После всех действий определяли физико-химические свойства полученного эфира растительного масла.

Для производства каждой из биодобавок использовалось различное сырье. При получении биодобавок 1, 2 и 3 использовали одноатомный спирт, а именно, нормальный бутиловый, и рыжиковое, кукурузное и льняное масло соответственно. Для синтеза 5, 6 биодобавок использовали одно растительное сырье и двухатомный спирт, но в образец 6 дополнительно вводили 30% высокотемпературного эмульгатора. В составе добавки 4 находились жирные кислоты растительного масла.

Таблица 4

Характеристики сырья для производства биодобавок  
Table 4. Characteristics of raw materials for the production of bioadditives

Наименование показателя	Рыжиковое масло	Льняное масло	Кукурузное масло
Кислотное число, мг КОН/г	4,0	2,0	4,5
Массовая доля нежировых примесей, %	0,1	0,05	0,03
Массовая доля фосфоросодержащих веществ, %, в пересчете на стеароолеолецитин	0,8	0,4	0,4
Массовая доля влаги и летучих веществ, %	0,12	0,2	0,15
Коэффициент преломления при 20°С	1,4745	1,480	1,475
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup>	0,920	0,926	0,925
Йодное число, г I <sub>2</sub> /100 г	132	170	111
Массовая доля неомыляемых веществ, %	0,3	1,0	0,5
Число омыления, мг КОН/г	181	184	189
Перекисное число, ммоль O <sub>2</sub> /кг	8	10	10

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемый в данной работе принцип получения экологически чистого дизельного топлива с биодобавками основан на введении синтезированных биодобавок в гидроочищенное дизельное топливо для селективного улучшения эксплуатационных и экологических характеристик последнего, а также расширения ресурсов нефтяного моторного топлива.

Под улучшением экологичности топлива понимается снижение содержания серы в смесях, а также снижение вредных выбросов от сжигания топлива в двигателях, так как часть нефтяного дизельного топлива замещается экологически чистой биодобавкой, полученной из растительного сырья.

При введении 6 синтезированных видов биодобавок в количестве 1, 5 и 10% масс. в базовое гидроочищенное дизельное топливо происходило изменение физико-химических показателей качества, отвечающих за эксплуатационные свойства получаемых компаундов.

Биодобавки 1, 2 и 3 не ухудшают экологические характеристики готового топлива, и при их добавлении в любом количестве содержание серы составляет 7 мг/кг (содержание серы в базовом дизельном топливе 10 мг/кг). Биодобавка 4, введенная в количестве 1, 5 и 10% в топливо, изменяет содержание серы до 8, 3 и 1 мг/кг соответственно. Биодобавки 5 и 6 при введении в дизельное топливо в тех же концентрациях, что и предыдущие, изменяют содержание серы до 33, 10 и 9 мг/кг и до 27, 19 и 14 мг/кг соответственно.

При снижении содержания серы в топливе с 10 до 1 ppm, годовое количество выбросов серы в отработанных газах уменьшится ориентировочно на 70 тыс. т (при ежегодном использовании дизельного топлива 76 млн т).

С увеличением концентрации всех синтезированных биодобавок до 10% масс. в образцах дизельного топлива происходит улучшение смазывающей способности топлива, численно выражающееся в виде скорректированного диаметра пятна износа, определяемого на приборе High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) по методам, изложенным в ASTM D 6079, ГОСТ Р ИСО 12156-1, ISO 12156). Сущность метода заключается в том, что в ванночку с моторным топливом опускается специальная пластинка, по которой металлический шарик совершает возвратно-поступательные движения при заданных параметрах (температура, время, и т.д.), при этом после испытания на шари-

ке фиксируется диаметр пятна износа, что после корректировки и принимается за искомый результат [20].

Биодобавки 1, 2, 3 и 6 с увеличением их концентрации в топливе до 10% улучшают смазывающую способность, а именно уменьшают диаметр пятна износа с 443 мкм до 253, 308, 283 и 207 мкм соответственно. При введении биодобавок 4 и 5 зависимость диаметра пятна износа от концентрации имеет нелинейный, а экстремальный характер с минимумом при концентрации биодобавки в топливе в количестве 5%. Соответствующие значения диаметра пятна износа для топлива с биодобавками 4 и 5 составляют 151 и 113 мкм.

Температура застывания при добавлении биодобавок 1-6 в гидроочищенное дизельное топливо снижается незначительно с -17 °С до -12-13 °С, что удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 52368 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», по которому значение данного показателя не должно превышать минус 10 °С.

При введении биодобавок 4-6 также наблюдается улучшение пусковых свойств базового дизельного топлива, что выражается в увеличении значений цетанового числа с 51 до 53-56 ед. и связано с наличием амидных групп карбоновых кислот в составе синтезированных биодобавок. При введении биодобавок 1-3 происходит незначительное снижение в значениях цетанового числа до 49-50 ед. данных составов, что, однако, характеризует их как не отвечающие требованиям ГОСТ Р 52368. Данные компаунды требуют дополнительного введения промоторов воспламенения (цетаноповышающих присадок).

## ВЫВОДЫ

Проанализировав различные составы, время перемешивания и температуру, мы пришли к выводу, что наиболее рациональной является температура 195 °С, так как при ней достигается наибольшая скорость химической реакции. Чем дольше протекает данная реакция, тем более высокий выход эфира мы получаем. Таким образом, время проведения реакции должно быть около 240 мин. Оптимальным составом является соотношение по массе масло: спирт 2,06:1 (или 103 г: 50 г).

Следовательно, улучшение экологических свойств органического топлива может быть достигнуто за счет введения в товарное дизельное топливо биодобавок, которые позволяют снизить вредные выбросы в атмосферу отработанных га-

зов автомобилей. При введении биодобавки в дизельное топливо в количестве 10% масс. содержание углеводородов в отработанных газах снижается на 5%, летучих органических соединений – на 6%, оксидов углерода – на 3%, дисперсных частиц – на 6%.

Одновременно увеличивается ресурс двигателя в 2-3 раза, снижается диаметр пятна износа

топлива, однако несколько понижается теплотворная способность топлива, которое при этом удовлетворяет всем характеристикам ГОСТ Р 52368.

Работа выполнена в рамках госзаданий 10.12854.2018/6.7 и 10.12855.2018/8.9 «Рациональное использование и глубокая переработка углеводородного сырья с получением судовых топлив и углеродных материалов».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моторное топливо в России и мире обсудили на отраслевой конференции в Москве. Подводим итоги. [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mplast.by/novosti/analitika/2017-04-25-motomoe-toplivo-v-rossii-i-mire-obsudili-na-otraslevoiy-konferentsii-v-moskve-podvodim-itogi/> (дата обращения 05.05.2017).
2. **Довыдовский В.А.** Современные дизельные двигатели. Топливная система. *Молодой ученый*. 2016. № 29. С. 73-75.
3. **Данилов А.М.** Присадки к топливам, используемые в России. *Мир нефтепродуктов*. 2004. № 2. С. 2-6.
4. **Данилов А.М.** Разработка и применение присадок к топливам в 2006-2010 гг.: аналитический обзор. *Химия и технология топлив и масел*. 2011. № 6. С. 41-45.
5. **Еремеева А.М.** Разработка и исследование экологически чистого дизельного топлива с присадками и биодобавками. *Науч.-метод. электрон. журн. «Концепт»*. *Современ. науч. исслед.* 2016. Вып. 4. С. 1871-1875. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86399.htm>.
6. **Кондрашева Н.К., Еремеева А.М.** Получение и исследование биодизельного топлива на основе кукурузного масла и бутилового спирта. *Академич. журн. Западной Сибири*. 2014. Т. 10. № 2 (51). С. 24.
7. **Дворецкий С.И., Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Рязанцева И.А.** Производство биодизельного топлива из органического сырья. Специальный выпуск (39). М.: Изд. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2012. С. 126-135.
8. **Loizzo M.R., Tundis R., Conforti F., Saab A.M., Statti G.A., Menichini F.** Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon. *Food Chem.* 2007. 105. P. 572-578.
9. **Haider N., Karlsson S.** Loss of Chimassorb 944 from LDPE and identification of additive degradation products after exposure to water, air and compost. *Polym. Degrad. Stab.* 2004. 74. P. 103-112.
10. **Буров Е.А., Иванова Л.В., Кошелев В.Н.** Влияние углеводородного состава дизельных топлив на их эксплуатационные свойства. *Нефтехимия*. 2014. Т. 54. № 6. С. 478-484.
11. **Крылов И.Ф., Емельянов В.Е., Никитина Е.В., Вижгородский Б.Н., Рудяк К.Б.** Малосернистые дизельные топлива: плюсы и минусы. *Химия и технология топлив и масел*. 2005. № 6. С. 3-6.
12. Зачем нужны биотоплива [электронный ресурс]: Экологические системы : электронный журнал энергосервисной компании. - 2007. № 7. Режим доступа [http://esco-ecosys.narod.ru/2007\\_7/art236.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2007_7/art236.htm) (дата обращения 05.02.2016).
13. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000-2012 годов [Электронный

#### REFERENCES

1. Motor fuel in Russia and the world was discussed at an industry conference in Moscow. Summing up. [electronic resource] / Access mode; <http://mplast.by/novosti/analitika/2017-04-25-motomoe-toplivo-v-rossii-i-mire-obsudili-na-otraslevoiy-konferentsii-v-moskve-podvodim-itogi/> (reference date 05.05.2017).
2. **Dovyдовский V.A.** Modern diesel engines. Fuel system. *Molodoiy Ucheniy*. 2016. N 29. P. 73-75 (in Russian).
3. **Danilov A.M.** Additives to fuels used in Russia. *Mir Nefteproduktov*. 2004. N 2. P. 2-6 (in Russian).
4. **Danilov A.M.** Development and application of additives to fuels in 2006-2010: an analytical review. *Khimiya I Tekhnol. Topliv I Masel*. 2011. N 6. P. 41-45 (in Russian).
5. **Eremeeva A.M.** Development and research of ecologically pure diesel fuel with additives and bioadditives. *Koncept*. 2016. Iss. 4. P. 1871-1875. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86399.htm>.
6. **Kondrasheva N.K., Eremeeva A.M.** Obtaining and examining biodiesel fuel based on corn oil and butyl alcohol. *Academ. Zhurn. Vostochn. Sibiri*. 2014. V. 10. N 2 (51). P. 24 (in Russian).
7. **Dvoretzky S.I., Zazulya A.N., Nagornov S.A., Romantsova S.V., Ryazantseva I.A.** Production of biodiesel from organic raw materials. Special issue (39). M.: Izd. University of. IN AND. Vernadsky. 2012. P. 126-135 (in Russian).
8. **Loizzo M.R., Tundis R., Conforti F., Saab A.M., Statti G.A., Menichini F.** Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon. *Food Chem.* 2007. 105. P. 572-578.
9. **Haider N., Karlsson S.** Loss of Chimassorb 944 from LDPE and identification of additive degradation products after exposure to water, air and compost. *Polym. Degrad. Stab.* 2004. 74. P. 103-112.
10. **Burov E.A., Ivanova L.V., Koshelev V.N.** Influence of the hydrocarbon composition of diesel fuels on their operational properties. *Neftekhimiya*. 2014. V. 54. N 6. P. 478-484 (in Russian).
11. **Krylov I.F., Emelyanov V.E., Nikitina E.V., Vizhgorodsky B.N., Rudyak K.B.** Low-sulfur diesel fuels: the pros and cons. *Khim. I Tekhnol. Topliv I Masel*. 2005. N 6. P. 3-6 (in Russian).
12. Why do we need biofuel [electronic resource]: Environmental systems: an electronic journal of an energy service company. 2007. №7. Access mode [http://esco-ecosys.narod.ru/2007\\_7/art236.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2007_7/art236.htm) (circulation date 05.02.2014) (in Russian).
13. The main trends in the development of the biofuel market in the world and in Russia for the period 2000-2012 [Electronic resource]: analytical report / OJSC "Corporation for Development". - information and analytical service. 2013. Mode of access: [http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo\\_ru\\_2.pdf](http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf) (circulation date 05.02.2017) (in Russian).

- ресурс]: аналитический отчет / ОАО «Корпорация «Развитие». - информационно-аналитическая служба. 2013. Режим доступа: [http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo\\_ru\\_2.pdf](http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf) (дата обращения 05.02.2017).
14. **Жирнов Б.С., Хайрудинов И.Р., Сидрачева И.И.** Подбор катализатора для проведения бутанолиза триглицеридов рапсового масла. Нефтепереработка и нефтехимия. *Науч.-технич. достиж. и перед. опыт: науч.-информ. сб.* 2009. № 1. С. 40-42.
  15. Глубина переработки нефти в России, Европе и США [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/253/2533419.html> (дата обращения 20.10.2017)
  16. **Агабеков В.Е., Косяков В.К.** Нефть и газ. Технологии и продукты переработки. Ростов н/Д: Феникс. 2014. 458 с.
  17. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Введ. 2006-07-01. М.: Стандартиформ. 2005. 19 с.
  18. **Митусова Т.Н., Калинина М.В., Лобашова М.М., Капитонов И.В., Недайборщ А.С.** Производство и применение дизельных и котельных топлив. *Мир нефтепродуктов. Вестн. нефтяных компаний.* 2014. № 6. С. 15.
  19. **Митусова Т.Н., Недайборщ А.С., Титаренко М.А.** Стабильность дизельных топлив и антиокислительные присадки. Сб. тез. междун. науч.-прак. конф. «Нефтегазопереработка-2015». Уфа 2015. С. 72-74.
  20. ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006 Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний (с Поправкой). М.: Стандартиформ. 2007.
  14. **Zhirnov B.S., Khairudinov I.R., Sidracheva I.I.** Selection of catalyst for butanolysis of rapeseed oil triglycerides. Oil refining and petrochemistry. *Scientific and technical achievements and best practices: a scientific-information collection.* 2009. N 1. P. 40-42 (in Russian).
  15. The depth of oil refining in Russia, Europe and the United States [electronic resource]. Access mode: <http://www.findpatent.ru/patent/253/2533419.html> (circulation date 20.10.2017) (in Russian).
  16. **Agabekov V.E., Kosyakov V.K.** Oil and gas. Technologies and products of processing. Rostov n/D.: Phoenix. 2014. 458 p. (in Russian).
  17. GOST R 52368-2005 (EN 590: 2009). Fuel diesel EURO. Technical conditions. Enter. 2006-07-01. M.: Standartinform. 2005. 19 p. (in Russian).
  18. **Mitusova T.N., Kalinina M.V., Lobashova M.M., Kapitonov I.V., Nedayborshch A.S.** Production and application of diesel and boiler fuels. *Mir Nefteproductov. Vestnik Neftyanykh Kompaniy.* 2014. N 6. P. 15 (in Russian).
  19. **Mitusova T.N., Nedayborshch A.S., Titarenko M.A.** Stability of diesel fuels and antioxidant additives. The collection of abstracts of the international scientific-prack. conference "Oil and gas processing-2015". Ufa. 2015. P. 72-74 (in Russian).
  20. GOST R ISO 12156-1-2006 Diesel fuel. Determination of lubricity on the HFRR. Part 1. Test method (with Amendment). M.: Standartinform. 2007. (in Russian).

*Поступила в редакцию 19.07.2017*

*Принята к опубликованию 21.08.2018*

*Received 19.07.2017*

*Accepted 21.08.2018*