

Научная статья

УДК 665.753.4+665.127.6+665.7.038

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-330-338>



## Оценка влияния продукта этерификации жирных кислот талловых масел на свойства дизельного топлива

Александр Сергеевич Говорин, Николай Петрович Коновалов,  
Николай Дмитриевич Губанов, Ольга Владилиновна Рыбарчук,  
Николай Александрович Ищук

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Говорин Александр Сергеевич, [govorin.aleksandr@yandex.ru](mailto:govorin.aleksandr@yandex.ru)

**Аннотация.** Постоянное ужесточение экологических требований к дизельному топливу привело к тому, что из его состава методом гидроочистки стали удалять соединения серы. Это повлекло за собой значительное ухудшение противоизносных свойств дизельного топлива. Для восполнения смазывающей способности в дизельное топливо добавляют кислородсодержащие соединения: карбоновые кислоты, амиды карбоновых кислот, сложные эфиры, полиамины и другие органические соединения. Концентрация присадки зависит от ее природы и составляет от 0,015 до 1,0% масс. Помимо противоизносных присадок, в дизельное топливо добавляют цетаноповышающие, депрессорно-диспергирующие и другие присадки, корректирующие свойства топлива. Предложен метод получения продукта этерификации, который может быть использован для улучшения свойств дизельного топлива. Было установлено, что при температуре 110–115 °С, длительно-сти процесса 120–240 мин, при использовании 3–5% масс. ионообменных смол на жирные кислоты получается продукт этерификации, содержащий до 65% сложных эфиров жирных кислот. Исследовано влияние содержания добавки на смазывающие свойства дизельного топлива. При добавлении от 0,5% масс. такой показатель, как скорректированный диаметр пятна износа, снижается с 615 до 420 мкм, а при добавлении 1,5% – до 230 мкм. Установлено, что добавление продукта этерификации в дизельное топливо приводит к увеличению цетанового числа исходного топлива. При добавлении 6,0% масс. разрабатываемого продукта этерификации цетановое число топлива увеличивается до 51,6 от исходных 43,0 ед. При этом продукт этерификации может быть использован в качестве компонента для приготовления смеси биодизельного топлива В6–В20, согласно ГОСТ 33131-2014.

**Ключевые слова:** жирные кислоты таллового масла, этерификация, н-бутанол, ионообменные смолы, дизельное топливо

**Для цитирования:** Говорин А. С., Коновалов Н. П., Губанов Н. Д., Рыбарчук О. В., Ищук Н. А. Оценка влияния продукта этерификации жирных кислот талловых масел на свойства дизельного топлива // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 2. С. 330-338. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-330-338>.

## Evaluation of the effect of the fatty acid esterification product of tall oils on the properties of diesel fuel

Aleksandr S. Govorin, Nikolai P. Konovalov, Nikolai D. Gubanov,  
Olga V. Rybarchuk, Nikolai A. Ishchuk

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Corresponding author: Aleksandr S. Govorin, govorin.aleksandr@yandex.ru

**Abstract.** In conformity with a constant tightening of environmental requirements, sulfur compounds are removed from the composition of diesel fuel using the hydrotreating method. However, this has led to a significant deterioration in the anti-wear properties of diesel fuel. To restore the lubricity, oxygen-containing compounds are added to diesel fuel, including carboxylic acids and their amide derivatives, as well as esters, polyamines and other organic compounds. The recommended concentration of the additive, which ranges from 0.015 to 1.0 wt %, is dependent on its specific properties. In addition to anti-wear additives, cetane-enhancing, depressant-dispersing and other additives are added to diesel fuel to correct the properties of the fuel. A method for producing an esterification product for improving the properties of diesel fuel is described. It is shown that an esterification product containing up to 65% fatty acid esters can be obtained at a temperature of 110–115 °C and a process duration of 120–240 minutes when using 3–5 wt % ion-exchange resins for fatty acids. The effect of the additive content on the lubricating properties of diesel fuel is investigated. When 0.5 wt % or more is added, the corrected wear spot diameter is reduced from 615 to 420  $\mu\text{m}$ ; when 1.5 wt % is added, it is further reduced to 230  $\mu\text{m}$ . The addition of esterification product to the diesel fuel is shown to result in an increase in the cetane number of initial fuel. When adding 6.0 wt % of the esterification product under development, the cetane number of the fuel is increased from the original 43.0 units to 51.6. In this case, the esterification product can be used as a component for preparing a mixture of biodiesel fuel B6-B20, according to GOST 33131-2014.

**Keywords:** tall oil fatty acids, esterification, *n*-butanol, ion-exchange resins, diesel fuel

**For citation:** Govorin A. S., Konovalov N. P., Gubanov N. D., Rybarchuk O. V., Ishchuk N. A. Evaluation of the effect of the fatty acid esterification product of tall oils on the properties of diesel fuel. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(2):330-338. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-330-338>.

### ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации допускается выпуск дизельного топлива (ДТ) стандарта ЕВРО 3-х экологических классов, в зависимости от содержания серы: К3 – 350 мг/кг; К4 – не более 50 мг/кг; К5 – не более 10 мг/кг. Соединения серы из ДТ удаляют методом гидроочистки [1–3]. Это привело к понижению противоизносных свойств ДТ, так как соединения серы в структуре ДТ выполняют функцию естественного смазывающего элемента, а их удаление сильно сокращает срок службы топливных насосов высокого давления. Поэтому для глубокоочищенных ДТ, допущенных к производству на территории Российской Федерации, разработан метод определения смазывающей способности ДТ на аппарате с высокочастотным возвратно-поступательным движением шарика (HFRR), по которому диаметр пятна износа должен быть не более 460  $\mu\text{m}$ <sup>1</sup>. Решением проблемы снижения противоизносных свойств стало добавление веществ на основе жирных кислот и их производных, которые повышают смазывающую способность [4–6]. Также в производстве ДТ

используются цетаноповышающие, депрессорно-диспергирующие и др. добавки [7, 8]. Таким образом, ДТ представляет собой смесь различных веществ, наличие и концентрация которых зависит от условий эксплуатации, ввиду чего актуальными стали исследования в области совместимости присадок к топливам [9–13]. Помимо этого, остро стоит вопрос импортозамещения противоизносных и др. присадок к ДТ. Так, в 2016 году доля импорта противоизносных присадок к ДТ составила 60%, а к реактивным топливам – 100% [14–17]. Поэтому актуальной является разработка отечественных способов получения присадок к ДТ, относящихся к экологическим классам К4, К5.

В качестве сырья были использованы жирные кислоты талловых масел (ЖКТМ) целлюлозно-бумажного комбината, которые являются побочным продуктом сульфатной варки целлюлозы. Авторами ранее были проведены исследования сырья и продуктов этерификации (ПЭ), результаты которых представлены в статье [18].

Цель данной работы – оценка влияния ПЭ

<sup>1</sup>ГОСТ ISO 12156-1-2012. Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Ч. 1. Метод испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.

жирных кислот талловых масел на свойства ДТ классов К4, К5 стандарта ЕВРО и перспективы использования ПЭ в качестве компонента для приготовления биодизельного топлива В6–В20, согласно ГОСТ 33131-2014.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез продукта осуществлялся путем проведения реакции этерификации ЖКТМ бутиловым спиртом. Было установлено, что ЖКТМ имеют узкий диапазон кипения (99% выкипает при температуре от 366 до 376 °С) при широком спектре соединений в своем составе. Методом газовой хромато-масс-спектрометрии было определено, что в составе ЖКТМ преобладает линолевая кислота, поэтому расчеты соотношения сырья и реагента, массы катализатора для процесса и др. расчеты велись по линолевой кислоте [18]. Тип катализа – гетеролитический. В качестве катализатора были использованы ионообменные смолы (H<sup>+</sup>-формы) марок Amberlite 15WET (DuPont de Nemours Inc., США), Lewatit K2629 (LANXESS Deutschland GmbH, Германия) и TOKEM-100 (ООО ПО «ТОКЕМ», Россия) [19, 20].

Amberlite 15WET (форма H<sup>+</sup>) – сильноокислая сульфокислотная макропористая полимерная смола на основе сшитых сополимеров стирола и дивинилбензола, обладает непрерывной открытой пористой структурой и физической, термической (до 120 °С) и химической стабильностью. Также отличается большой устойчивостью к окислителям, таким как хлор, кислород и хроматы.

Amberlite 15WET (рис. 1, а) имеет оптимальный баланс площади поверхности, кислотной емкости, активности и диаметра пор, что делает Amberlite 15WET предпочтительным катализатором для реакций этерификации и гидратации. Данная ионообменная смола имеет оптимизированное распределение пор по размерам, поэтому она является отличным катализатором, когда ожидается загрязнение в случае взаимодействия с такими тяжелыми соединениями, как ЖКТМ.

Lewatit K2629 (форма H<sup>+</sup>) представляет собой сильноокислотную макропористую смолу на полимерной основе со сферической формой гранул, содержащую группу сульфокислоты. Подходит в качестве гетерогенного катализатора в органической среде. Матрица ионообменной смолы – сшитый полистирол (рис. 1, б).

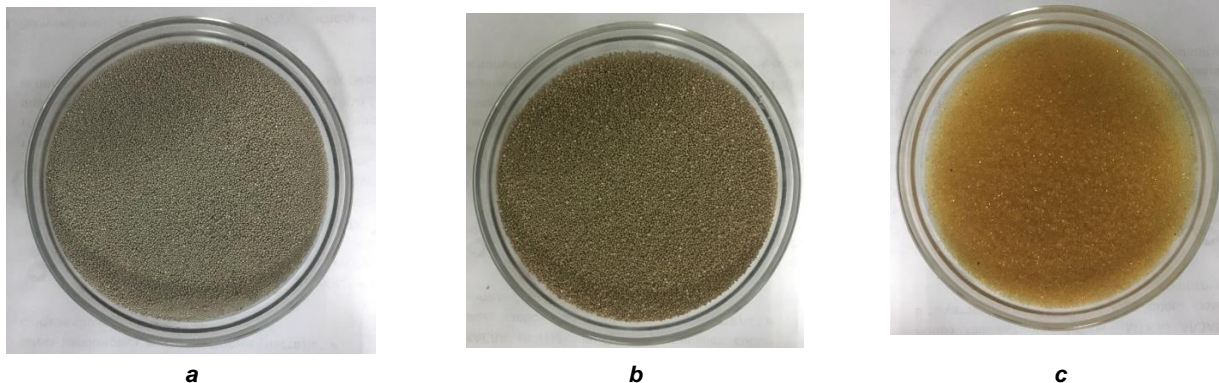
В целом Lewatit K2629 и Amberlite 15WET обладают внешним подобием, а также похожими характеристиками, в том числе температурными свойствами эксплуатации до 120 °С.

ТОКЕМ-100 (форма H<sup>+</sup>) – высокеемкий сильноокислотный катионит улучшенного гранулометрического состава. Обладает высокой химической стабильностью и механической прочностью. Матрица – стирол-дивинилбензолная. Функциональная группа – сульфогруппа (рис. 1, в).

Для смещения равновесия в сторону продукта реакции необходимо сохранять избыток спирта в зоне реакции и постоянно отводить побочный продукт реакции – воду.

Процесс этерификации проводили следующим образом. В трехгорлую круглодонную колбу объемом 500 мл помещали 3–5% масс. катализатора по отношению к массе ЖКТМ, а затем добавляли 200 мл ЖКТМ и 75 мл бутилового спирта. Спирт в мольном избытке. Процесс проходил при температуре 110–115 °С в течение 120–240 мин. Конденсат собирали в накопительной части насадки, воду удаляли через сливной кран. Процесс осуществляли до полного прекращения выделения воды.

Полученный ПЭ проанализирован с использованием следующих методик: ГОСТ 3900 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности»; ГОСТ 32139-2019 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии»; ГОСТ 32508-2013 «Топлива дизельные. Определение цетанового числа» и ГОСТ ISO 12156-2012 «Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR».



**Рис. 1.** Внешний вид ионообменных смол, используемых в качестве катализатора:  
а – Amberlite 15WET; б – Lewatit K2629; в – TOKEM-100

**Fig. 1.** Appearance of ion exchange resins described as a catalyst:  
а – Amberlite 15WET; б – Lewatit K2629; в – TOKEM-100

Также в данной работе была использована базовая основа ДТ (гидроочищенное топливо без присадок), произведенного на АО «Ангарская нефтехимическая компания». ДТ было проанализировано с применением следующих методик (помимо указанных выше): ГОСТ ISO 20884-2016 «Нефтепродукты жидкие. Определение содержания серы в автомобильных топливах. Метод рентгенофлуоресцентной спектрометрии с дисперсией по длине волны»; ГОСТ Р ISO 3675-2007 «Нефть сырая и нефтепродукты жидкие. Лабораторный метод определения плотности с использованием ареометра»; ГОСТ 33-2016 «Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости»; ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава».

Полученные результаты представлены ниже.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 2 показано сравнение изменения кислотного числа ПЭ за один цикл реакции при использовании в качестве катализатора ионообменных смол (Amberlite 15WET, Lewatit K2629 и TOKEM-100), серной кислоты и сульфогля.

Так, показатель «кислотное число» можно считать косвенным показателем эффективности ионообменных смол как катализатора при превращении карбоновых кислот в сложные эфиры. При использовании ионообменных смол за один цикл реакции исходное кислотное число ЖКТМ снижается с 163,7 до 0,05 мг КОН/г в ПЭ, а для той же реакции, но с применением в качестве катализатора серной кислоты или сульфогля необходимы дополнительные реакционные циклы. Кислотные числа ПЭ, полученного с использованием в качестве катализатора серной кисло-

ты и сульфогля, в контексте данного исследования приведены для демонстрации эффективности использования ионообменных смол.

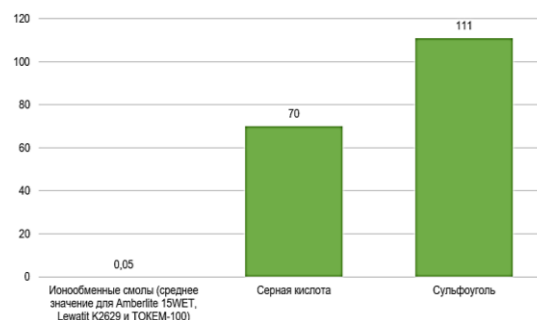


Рис. 2. Изменение показателя кислотного числа в зависимости от используемого катализатора

Fig. 2. Change in the acid number index depending on the catalyst used

Был проведен ИК-спектральный анализ ЖКТМ целлюлозно-бумажного производства смешанного типа (лиственных и хвойных пород деревьев, рис. 3, кривая а) и ЖКТМ только хвойных пород деревьев (рис. 3, кривая б), а также ПЭ ЖКТМ с н-бутанолом (рис. 3, кривая с) [21].

Наблюдается существенное изменение в спектрах ПЭ в интервале от 1800 до 1000  $\text{см}^{-1}$ , что наглядно продемонстрировано ниже (см. рис. 3).

Об образованных сложных эфирах в ПЭ можно судить по пику 1738  $\text{см}^{-1}$ , который был вызван валентным колебанием  $\text{C}=\text{O}$  группы сложных эфиров. Две полосы в диапазоне 1300–1050  $\text{см}^{-1}$  являются следствием асимметричных и симметричных валентных колебаний эфирной группы ( $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ) соответственно.

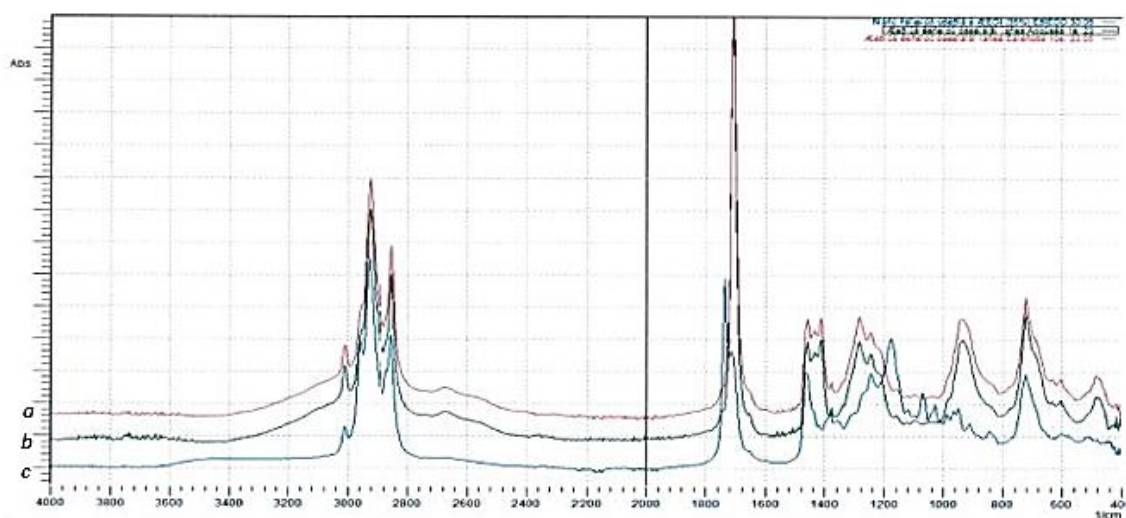


Рис. 3. ИК-спектр жирных кислот талловых масел смешанного типа (а), хвойных пород деревьев (б), продукта этерификации жирных кислот талловых масел (с)

Fig. 3. IR spectrum of fatty acids of tall oils of mixed type (a), coniferous trees (b), fatty acid esterification product of tall oils (c)

Для оценки влияния ПЭ на свойства ДТ было использовано ДТ ЕВРО – зимнее, класса 2, экологического класса К5 по ГОСТ 32511-2013, произведенное в АО «Ангарская нефтехимическая компания», свойства данного ДТ представлены в табл. 1.

Были приготовлены 7 образцов смеси базово-

вого ДТ с добавлением ПЭ. Результаты представлены в табл. 2.

Введение добавки в ДТ происходило следующим образом. В лабораторный стакан объемом 600 мл помещалось ДТ и предварительно нагревалось до 40 °С. Добавка вводилась в необходимых массовых % по отношению к ДТ.

**Таблица 1.** Показатели качества дизельного топлива АО «Ангарская нефтехимическая компания»

**Table 1.** Indicators of diesel fuel quality produced by "Angarsk Petrochemical Company"

Наименование показателя	Единица измерения	Норма по нормативной документации	Фактическое значение	Нормативная документация на методы испытаний
Смазывающая способность	мкм	не более 460	615	ГОСТ 12156-2012
Массовая доля серы	мг/кг	не более 10,0	5,2	ГОСТ 20884-2016
Плотность при 15 °С	кг/м³	800,0–840,0	825,6	ГОСТ 3675-2007
Предельная температура фильтруемости	°С	не выше -32	-33	ГОСТ 22254-92
Кинематическая вязкость при 40 °С	мм²/с	1,400–4,000	1,836	ГОСТ 33-2016
Фракционный состав: до 180 °С перегоняется	% об.	не более 10	10	ГОСТ 2177-99 (метод А)
Фракционный состав: до 360 °С перегоняется	% об.	не менее 95	98	ГОСТ 2177-99 (метод А)
Фракционный состав: 95% об. перегоняется при температуре	°С	не выше 360	295	ГОСТ 2177-99 (метод А)

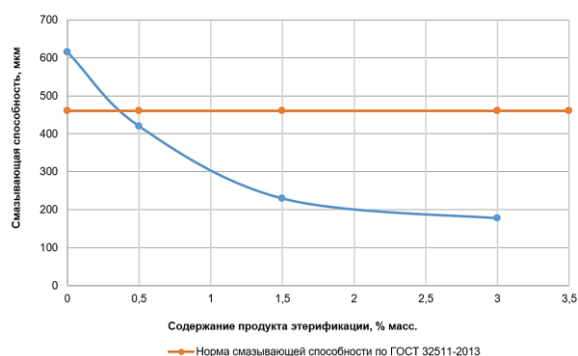
**Таблица 2.** Оценка общего влияния продукта этерификации на свойства дизельного топлива

**Table 2.** Evaluation of the esterification product effect on the properties of diesel fuel

№ п/п	Наименование пробы	Плотность при 20 °С, кг/м³	Содержание серы, ppm/%	Цетановое число, ед.	Смазывающая способность (скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С)
	Методики испытаний	ГОСТ 3900	ГОСТ 32139	ГОСТ 32508	ГОСТ ISO 12156-2012
1	дизельное топливо 100%	822	1/0.0001	43,1	615
2	дизельное топливо + 0,5% масс. продукт этерификации	823	1/0.0001	44,2	420
3	дизельное топливо + 1,5% масс. продукт этерификации	823	7/0.0007	46,1	230
4	дизельное топливо + 3,0% масс. продукт этерификации	823	8/0.0008	45,5	178
5	дизельное топливо + 6,0% масс. продукт этерификации	824	10/0.0010	51,7	–
6	дизельное топливо + 10,0% масс. продукт этерификации	825	13/0.0013	60,2	–
7	дизельное топливо + 20,0% масс. продукт этерификации	829	14/0.0014	61,4	–
8	дизельное топливо + 50,0% масс. продукт этерификации	837	45/0.0045	64,1	–
9	продукт этерификации 100%	878	73/0.0073	–	220



Зависимость противоизносных свойств ДТ от содержания ПЭ приведена на рис. 4. Как видно из представленных данных, необходимая смазывающая способность достигается при добавлении 0,5% масс. ПЭ. При добавлении 3% смазывающая способность ДТ ниже максимально допустимой примерно в 2,5 раза, при этом ПЭ имеет значение смазывающей способности, равное 220 мкм. Это объясняется погрешностью метода, которая составляет  $\pm 61$  мкм.



**Рис. 4.** Зависимость противоизносных свойств дизельного топлива от содержания добавки (продукт этерификации)

**Fig. 4.** Relationship between the antiwear properties of diesel fuel and the content of the additive (esterification product)

Помимо улучшения смазывающих свойств ДТ, при увеличении концентрации ПЭ наблюдается рост цетанового числа, а при достижении значения концентрации ПЭ 6,0% масс. цетановое число ДТ становится равным 51,7 ед., что соответствует нормативным значениям по ГОСТ 32511-2013 (не менее 51 ед.).

Однако при концентрации ПЭ выше 10% масс. содержание серы в ДТ увеличивается, что приводит к снижению экологического класса топлива с К5 на К4.

Образцы под номерами 5–7 табл. 2 могут быть использованы в качестве компонента для приготовления смеси биодизельного топлива в соответствии с ГОСТ 33131-2014, согласно которому допускается добавлять в ДТ от 6 до 20% базового биодизельного топлива. В качестве базового биодизельного топлива выступает ПЭ.

Полученные результаты образцов под номерами 5–7, представленных в табл. 2, сравнили с требованиями, предъявляемыми к смесям биодизельного топлива (табл. 3).

Смесь ДТ с массовой концентрацией ПЭ от 6 до 20% практически полностью соответствует требованиям ГОСТ 33131-2014. Даже при максимальной концентрации ПЭ в ДТ полученная смесь по содержанию серы будет относиться к классу S15 биодизельного топлива В6–В20 (с наименьшим показателем по содержанию серы).

**Таблица 3.** Смесь базового дизельного топлива с продуктом этерификации от 6 до 20% масс. в сравнении с требуемыми показателями ГОСТ 33131-2014

**Table 3.** Mixture of base diesel fuel with esterification product (6–12 wt.%) in comparison with standard characteristics

Наименование показателя	Класс биодизельного топлива В6–В20			Дизельное топливо + продукт этерификации
	S15	S500	S5000	
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,3	0,3	0,3	0,05
Вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	1,9–4,1	1,9–4,1	1,9–4,1	–
Содержание серы, не более:				
– мкг/г	15			10–14
– % масс.		0,05		
– % масс.			0,50	
Цетановое число	40	40	40	51–61
Содержание базового биодизельного топлива, %	6–20	6–20	6–20	6–20
Скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм, не более	520	520	520	178–230

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод этерификации ЖКТМ с н-бутанолом в присутствии ионообменных смол (H<sup>+</sup>-формы). Показана эффективность использования ионообменных смол для кислотной этерификации на примере 3-х типов катализатора: Amberlite 15WET, Lewatit K2629 и ТОКЕМ-100.

Определен положительный эффект добавления ПЭ в ДТ марки ДТ-3-К5. Введение 0,5% ПЭ обеспечивает регламентируемую норму смазывающей способности для гидроочищенного ДТ. При добавлении ПЭ в значении 6,0% масс. цетановое число ДТ повышается до 51,6 от ис-

ходных 43,0 ед. ПЭ может быть рекомендован в качестве добавки в ДТ для улучшения смазывающих свойств и увеличения цетанового числа топлива.

Также было проведено сравнение смеси ДТ и ПЭ с требованиями ГОСТ 33131-2014 «Смеси биодизельного топлива (В6–В20)». Из полученных сравнительных данных можно сделать вывод, что ПЭ имеет перспективы использования в качестве базового биодизеля для приготовления смеси биодизельного топлива В6–В20. Однако приведенные данные следует интерпретировать как справочные, и в настоящей статье они использованы в

качестве демонстрации возможного улучшения рецептуры производства биотоплив на основе метанола при помощи добавления компонентов на

основе бутанола, что требует дополнительных исследований в этом направлении для обоснования приведенного заключения.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Спиркин В. Г., Мурашев С. В. Противоизносные свойства дизельных топлив с улучшенными экологическими характеристиками // *Химия и технология топлив и масел*. 1999. N 3. С. 29–30.

2. Митусова Т. Н. Современное состояние производства дизельных топлив. Требования к качеству // *Мир нефтепродуктов*. 2009. N 9-10. С. 6–9.

3. Махмудова Л. Ш., Ахмадова Х. Х., Хадисова Ж. Т., Абдулмежидова З. А., Пименов А. А., Красников П. Е. Производство низкозастывающих дизельных топлив на российских НПЗ: состояние и перспективы // *Российский химический журнал*. 2017. Т. 61. N 2. С. 75–97.

4. Туманян Б. П., Щербаков П. Ю., Шарин Е. А., Матин М. Е., Матвеева О. А. Исследование эффективности жирных кислот растительных масел в качестве противоизносных присадок к дизельным топливам // *Химия и технология топлив и масел*. 2020. N 4. С. 3–11.

5. Короткова Н. П., Ярмолюк Б. М., Любинин И. А., Кочирко Б. Ф. Противоизносные присадки к дизельным топливам. Аналитический обзор литературы // *Вопросы химии и химической технологии*. 2013. N 3. С. 61–66.

6. Шевченко Е. Б., Суханберлиев А. И., Аббасов М. М., Данилов А. М. Жирные кислоты растительных масел как компоненты противоизносных присадок к дизельному топливу // *Журнал прикладной химии*. 2019. Т. 92. N 1. С. 133–136.

7. Данилов А. М., Паронькин В. П., Меркин А. А. О задачах по созданию отечественного ассортимента присадок для дизельных топлив // *Мир нефтепродуктов*. 2008. N 2. С. 20–22.

8. Митусова Т. Н. Современное состояние производства присадок к дизельным топливам. Требования к качеству // *Мир нефтепродуктов*. 2009. N 9-10. С. 10–16.

9. Данилов А. М. О совместимости присадок к топливам // *Химия и технология топлив и масел*. 1998. N 5. С. 14–16.

10. Данилов А. М. Разработка и применение присадок к топливам в 2006–2010 гг. // *Химия и технология топлив и масел*. 2011. N 6. С. 41–51.

11. Зиннатуллина Г. М., Алипов Д. Е., Баулин О. А., Шахова Ф. А., Мухамадеева А. И., Карпенко Е. М. [и др.]. Влияние присадок на эксплуатационные и экологические характеристики дизельных топлив // *Нефтегазовое дело*. 2014. Т. 12. N 2. С. 92–99.

12. Гришин Д. Ф. Депрессорные, противоизносные и антиокислительные присадки к гидро-

очищенным дизельным топливам с низким и ультранизким содержанием серы (обзор) // *Нефтехимия*. 2017. Т. 57. N 5. С. 489–502. <https://doi.org/10.7868/S0028242117050094>.

13. Митусова Т. Н., Калинина М. В., Сафонова Е. Е. О нежелательных побочных эффектах противоизносных присадок к дизельным топливам // *Мир нефтепродуктов*. 2010. N 5. С. 51–53.

14. Данилов А. М., Овчинников К. А., Бартко Р. А. Задачи и практические результаты импортозамещения в области присадок к топливам и смазочным маслам // *Экспозиция Нефть Газ*. 2017. Т. 54. N 1. С. 17–19.

15. Зинина Н. Д., Тимашова А. Л., Павловская М. В., Гришин Д. Ф. Противоизносная присадка к дизельному топливу с ультранизким содержанием серы // *Нефтехимия*. 2014. Т. 54. N 5. С. 399–404.

16. Дубровский Д. А., Семёнов И. А., Кузора И. Е., Старикова О. В., Артемьева Ж. Н., Дьячкова С. Г. [и др.]. Расширение ассортимента присадок к базовым топливам в АО «АНХК». Проблемы и перспективы // *Мир нефтепродуктов*. 2018. N 12. С. 6–15.

17. Бочаров А. П., Левина Л. А., Резниченко И. Д. Испытания и внедрение противоизносной присадки Байкат, разработанной ОАО «АЗКиОС» // *Мир нефтепродуктов*. 2010. N 1. С. 14–15.

18. Govorin A. S., Gubanov N. D., Konovalov N. P. Esterification of tall oil fatty acids using ion exchange resins in order to produce energy-efficient engine oil // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 408. P. 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012074>.

19. Кэ Пэн, Якупов Н. В., Гаеткулова Г. К., Рахимов М. Н., Давлетшин А. Р., Хамзин Ю. А. [и др.]. Получение перспективных кислородосодержащих компонентов моторных топлив // *Нефтегазовое дело*. 2019. N 3. С. 164–176.

20. Shakoор Z. M., Sukkar K. A., Baqer M. S. Reaction kinetics of acetic acid and n-butanol esterification catalyzed by Dowex 50 catalyst // *Engineering and Technology Journal*. 2011. Vol. 29, no. 10. P. 2060–2072.

21. Govorin A. S., Konovalov N. P., Gubanov N. D. Study in fatty acids of tall oils and their products of esterification by the method of IR spectrometry for analytical control of preparation of esters // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1942. P. 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012018>.

#### REFERENCES

1. Spirkin V. G., Murashev S. V. Antiwear properties of diesel fuels with improved environmental performance. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel*

= *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1999;(3):29-30. (In Russian).

2. Mitusova T. N. Modern condition of diesel fuel

production. Quality requirements. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2009;(9-10):6-9. (In Russian).

3. Makhmudova L. Sh., Akhmadova Kh. Kh., Khadisova Zh. T., Abdulmezhidova Z. A., Pimenov A. A., Krasnikov P. E. Production of low pour point diesel fuels at Russian refineries: state of the art and prospects. *Rossiiskii Khimicheskii Zhurnal = Russian Journal of General Chemistry*. 2017;61(2):75-97. (In Russian).

4. Tumanyan B. P., Shcherbakov P. Y., Sharin E. A., Matin M. E., Matveeva O. A. Effectiveness of vegetable-oil fatty acids as antiwear additives for diesel oils. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel = Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2020;(4):3-11. (In Russian).

5. Korotkova N. P., Yarmolyuk B. M., Lyubinin I. A., Kochirko B. F. Antiwear additives for diesel fuels. Analytical review of literature. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2013;(3):61-66. (In Russian).

6. Shevchenko E. B., Sukhanberliev A. I., Abbasov M. M., Danilov A. M. Fatty acids of vegetable oils as components of anti-wear diesel-fuel additives. *Zhurnal Prikladnoi Khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019;92(1):133-136. (In Russian).

7. Danilov A. M., Paron'kin V. P., Merkin A. A. On the tasks of creating a domestic range of additives for diesel fuels. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2008;(2):20-22. (In Russian).

8. Mitusova T. N. Modern state of production of additives to diesel fuels. Quality requirements. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2009;(9-10):10-16. (In Russian).

9. Danilov A. M. About compatibility of additives to fuels. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel = Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 1998;(5):14-16. (In Russian).

10. Danilov A. M. Development and use of fuel additives during 2006-2010. *Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel = Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2011;(6):41-51. (In Russian).

11. Zinnatullina G. M., Alipov D. E., Baulin O. A., Shakhova F. A., Muhamadeeva A. I., Karpenko E. M., et al. The impact of additives on operational and ecological characteristics of diesel fuels. *Neftegazovoe Delo = Petroleum Engineering*. 2014;12(2):92-99. (In Russian).

12. Grishin D. F. Depressant, antiwear and anti-oxidant additives for hydrotreated diesel fuels with

low and ultra-low sulfur content (review). *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*. 2017;57(5):489-502. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0028242117050094>.

13. Mitusova T. N., Kalinina M. V., Safonova E. E. Undesirable side effects of antiwear additives for diesel fuels. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2010;(5):51-53. (In Russian).

14. Danilov A. M., Ovchinniko K. A., Bartko R. V. Problems and practical results of import substitution in the field of additives to fuels and lubricant oils. *Ekspozitsiya Neft' Gaz = Exposition Oil Gas*. 2017;54(1):17-19. (In Russian).

15. Zinina N. D., Timashova A. L., Pavlovskaya M. V., Grishin D. F. An antiwear additive for ultra-low-sulfur diesel fuel. *Neftekhimiya = Petroleum Chemistry*. 2014;54(5):399-404. (In Russian).

16. Dubrovskiy D. A., Semenov I. A., Kuzora I. E., Starikova O. V., Artem'eva Z. N., Dyachkova S. G., et al. Expansion of the range of additives for the base fuel of Angarsk petrochemical company. Problems and prospects. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2018;(12):6-15. (In Russian).

17. Bocharov A. P., Levina L. A., Reznichenko I. D. Tests and adoption of an antiwear Baikat additive, developed by AZKIOS Ltd. *Mir Nefteproduktov = World of Oil Products*. 2010;(1):14-15. (In Russian).

18. Govorin A. S., Gubanov N. D., Konovalov N. P. Esterification of tall oil fatty acids using ion exchange resins in order to produce energy-efficient engine oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;408:012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/408/1/012074>.

19. Ke Peng, Yakupov N. V., Gayetkulova G. K., Rakhimov M. N., Davletshin A. R., Khamzin Yu. A., et al. Obtaining promising oxygen-containing components of motor fuels. *Neftegazovoe Delo = Petroleum Engineering*. 2019;(3):164-176. (In Russian).

20. Shakoor Z. M., Sukkar K. A., Baqer M. S. Reaction kinetics of acetic acid and n-butanol esterification catalyzed by Dowex 50 catalyst. *Engineering and Technology Journal*. 2011;29(10):2060-2072.

21. Govorin A. S., Konovalov N. P., Gubanov N. D. Study in fatty acids of tall oils and their products of esterification by the method of IR spectrometry for analytical control of preparation of esters. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1942:012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012018>.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **А. С. Говорин,**

аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[govorin.aleksandr@yandex.ru](mailto:govorin.aleksandr@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8541-9163>

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

##### **Aleksandr S. Govorin,**

Postgraduate Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
[govorin.aleksandr@yandex.ru](mailto:govorin.aleksandr@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8541-9163>



**Н. П. Коновалов,**  
д.т.н., профессор,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
knp@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0001-6786-2711>

**Н. Д. Губанов,**  
к.т.н., доцент,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
gubanov\_nd@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0003-2738-2195>

**О. В. Рыбарчук,**  
к.т.н., доцент,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
Oklim89@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3879-9706>

**Н. А. Ищук,**  
аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
nickish83@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5893-6560>

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад  
в подготовку публикации.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта  
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили  
окончательный вариант рукописи.*

#### **Информация о статье**

*Поступила в редакцию 17.06.2021.  
Одобрена после рецензирования 07.04.2022.  
Принята к публикации 30.05.2022.*

**Nikolai P. Konovalov,**  
Dr. Sci. (Engineering), Professor,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
knp@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0001-6786-2711>

**Nikolai D. Gubanov,**  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
gubanov\_nd@istu.edu  
<https://orcid.org/0000-0003-2738-2195>

**Olga V. Rybarchuk,**  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
Oklim89@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3879-9706>

**Nikolai A. Ishchuk,**  
Postgraduate Student,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation,  
nickish83@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5893-6560>

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Conflict interests**

The authors declare no conflict of interests  
regarding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved  
by all the co-authors.*

#### **Information about the article**

*The article was submitted 17.06.2021.  
Approved after reviewing 07.04.2022.  
Accepted for publication 30.05.2022.*