Научная статья
УДК 629.113
DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-534-543

ИЗМЕНЕНИЕ СМАЗЫВАЮЩИХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ ДОБАВЛЕНИИ В НЕГО РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

С.Н. Кривцов, Т. И. Кривцова
Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
krivcov_sergei@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0462-8455
tatyana_krivcova1985@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9425-2062

АННОТАЦИЯ

Введение. *Экологическая безопасность автомобилей с дизельным двигателем не теряет своей актуальности. В условиях ужесточения требований к дизельному топливу содержание многих вредных выбросов в отработавших газах, в том числе серы, не допускается. Как известно, малосернистые топлива требуют наличия присадок, улучшающих смазывающие свойства дизельного топлива. Несоответствие требованиям по смазывающим свойствам значительно влияет на ресурс топливоподающей системы дизельного двигателя, прежде всего системы Common Rail. В связи с перечисленными выше обстоятельствами выдвинута гипотеза о том, что растительное масло в небольших концентрациях может служить для улучшения смазывающих свойств топлив.*
Материалы и методы. *В своих исследованиях авторы провели эксперименты по стандартной методике HFRR (высокочастотного поступательного движения шарика, трущегося по пластине в топливе). Для визуальной оценки пятен износа и измерения их размеров применяли микроскоп. В качестве образцов для экспериментов брали дизельное топливо и в определенных пропорциях добавляли к нему растительное масло в качестве присадки.*
Обсуждение и заключение. *Добавка растительного масла способна улучшать смазывающие свойства дизельного топлива, даже не соответствующего ГОСТу по этому параметру. Проведенные эксперименты позволяют заключить, что добавление растительного масла в процентном отношении к дизельному топливу практически линейно снижает диаметр пятна износа.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *смазывающие свойства, дизельное топливо, растительное масло, топливоподающая система, пятно износа, трение, абразивный износ, добавки к дизельному топливу, снижение износа*

Статья поступила в редакцию 30.08.2021; одобрена после рецензирования 11.10.2021; принята к публикации 29.10.2021.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Кривцов С.Н., Кривцова Т.И. Изменение смазывающих свойств дизельного топлива при добавлении в него растительного масла // *Вестник СибАДИ.* 2021. Т.18, № 5(81). С. 534-543. https://doi.org/10.26518/2071-7296- 2021-18-5-534-543

© Кривцов С.Н., Кривцова Т. И., 2021

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-534-543

CHANGING THE LUBRICITY OF DIESEL FUEL WITH VEGETABLE OIL ADDITIVE

Sergey N. Krivtsov, Tatyana I. Krivtsova
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
krivcov_sergei@mail.ru, https://orcid.org/0000-0003-0462-8455
tatyana_krivcova1985@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-9425-2062

ABSTRACT

Intriduction. *The environmental safety of cars with a diesel engine does not lose its relevance. In the conditions of stricter requirements for diesel fuel, the content of many substances harmful to the environment, including sulfur, is not allowed. As is known, low-sulfur fuels require the presence of additives that improve the lubricating properties of diesel fuel. Non-compliance with the requirements for lubricity significantly affects the resource of the fuel supply system of a diesel engine, primarily the Common Rail system. In order with the circumstances listed above, we hypothesized that vegetable oil can serve in small concentrations to improve the lubricating properties of fuels.*
Materials and methods. *In our research, we conducted experiments using the standard HFRR method (high-frequency translational motion of a ball rubbing against a plate in fuel). A microscope was used to visually assess the wear spots and measure their size. Diesel fuel was taken as samples for experiments and vegetable oil was added to it as an additive in certain proportions.*
Discussion and conclusions. *The vegetable oil additive can improve the lubricity of diesel fuel, even if it does not comply with GOST for this parameter. The experiments conducted allow us to conclude that the vegetable oil additive as a percentage of diesel fuel almost linearly reduces the diameter of the wear spot*

KEYWORDS: *lubricity, diesel fuel, vegetable oil, diesel fuel additive, wear spot, friction, abrasive wear, decreasing of wear*

The article was submitted 30.08.2021; approved after reviewing 11.10.2021; accepted for publication 29.10.2021.
The authors have read and approved the final manuscript.
Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods.
There is no conflict of interest.

For citation: Krivtsov S.N., KrivtsovaT.I. Changing the lubricity of diesel fuel with vegetable oil additive. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2021; 18 (5): 534-543. DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-534-543

© Krivtsov S.N., Krivtsova T.I., 2021

Content is available under the license Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие страны Евросоюза, Япония, Китай и др. озабочены проблемой сокращения выбросов диоксида углерода в атмосферу. Считается, что наибольший эффект может быть достигнут при использовании транспортных средств с нулевыми выбросами CO_2, например, электромобилей. Но в настоящее время для полного отказа от двигателей внутреннего сгорания не хватает энергетических мощностей и широко развитой инфраструктуры.

Одним из самых экономичных агрегатов для решения широкого спектра задач остается дизельный двигатель. У него самые низкие выбросы диоксида углерода из всех ДВС, работающих на жидких топливах. Для ряда отраслей экономики он и вовсе является пока практически безальтернативной силовой установкой. В настоящее время все более остро встает вопрос о повышении их экологической безопасности, снижении дымности и токсичности отработавших газов дизельных двигателей, в связи с чем требования к качеству дизельных топлив постоянно ужесточаются.

Одним из общепризнанных путей по снижению экологической нагрузки дизелей на окружающую среду является применение нетрадиционных моторных топлив, в том числе природного происхождения, например, растительных масел и их производных [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Подобные присадки востребованы во многих отраслях промышленности [13, 14, 15]. Однако здесь возникают трудности, препятствующие их широкому применению в больших концентрациях: высокая стоимость с одной стороны, плохие низкотемпературные свойства и сниженное цетановое число с другой стороны.

К дизельным топливам также предъявляются высокие требования в плане экологичности и, прежде всего, к содержанию в нем серы. При этом малосернистые топлива должны содержать присадки, улучшающие смазывающие свойства [16, 17].

Однако некоторые исследователи отмечают, что показатели качества на разных АЗС могут варьироваться [18, 19]. В частности, несоответствие требованиям по смазывающим свойствам значительно влияет на ресурс топливоподающей системы дизельного двигателя, прежде всего системы Common Rail [20, 21].Этот факт приводит к ухудшению экологических показателей двигателей, а также повышенным затратам на эксплуатацию.

В связи с перечисленными выше обстоятельствами нами выдвинута гипотеза о том, что растительное масло в небольших концентрациях может улучшить смазывающие свойства топлив. Попытки применения масел в качестве добавки для улучшения смазывающих свойств уже делались [22, 23], однако в этих работах применялись оригинальные методики, а не стандартные по ГОСТ ISO 12156-1–2012. Во многих исследованиях отмечается положительное влияние эфиров растительных масел на смазывающие свойства [1, 2, 3, 4, 7], но высокая цена и ограниченное распространение эфиров менее привлекательны для условий рядовой эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Смазывающие свойства дизельных топлив чаще всего определяются методом HFRR[1] (высокочастотного поступательного движения шарика, трущегося по пластине в топливе).

Для проведения экспериментальных исследований были заготовлены реактивы – летнее дизельное топливо и растительное подсолнечное масло. Дизельное топливо было куплено на рядовой заправке. Фракционный состав дизельного топлива и соответствие ГОСТу[2] заранее не проверялись. Подсолнечное рафинированное масло приобрели в ближайшем супермаркете. Физико-химические свойства масла не проверялись заранее.

В экспериментах участвовало 6 проб топлив (таблица 1) с объемным содержанием 0–25% растительного масла в смеси. Этот предел изменения концентрации масла выбран потому, что дальнейшее увеличение содержания масла значительно влияет на рабочий процесс двигателя, а именно на экономичность и жесткость работы [24].

В топливо (смесь) при испытаниях погружались специально подготовленные пластины, отполированные «до зеркала»; всего 3 шт. с двухсторонней обработкой. Также были необходимы металлические шарики в количестве 6 шт. Диаметр шариков 6 мм.

[1] ГОСТ ISO 12156-1–2012. Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний. Дата введения: 2014-07-01.

[2] ГОСТ 305–2013. Межгосударственный стандарт. Топливо дизельное. Технические условия. Дата введения: 2015-01-01.

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Таблица 1
Образцы смесей дизельного топлива с растительным маслом

Table 1
Samples of diesel fuel mixtures with vegetable oil

	Количество дизельного топлива		Количество растительного масла		Общий объем смеси
	%	мл	%	мл	мл
Образец 1	100	20	0	0	20
Образец 2	95	19	5	1	20
Образец 3	90	18	10	2	20
Образец 4	85	17	15	3	20
Образец 5	80	16	20	4	20
Образец 6	75	15	25	5	20

Для обработки поверхностей до и после испытаний был использован обезжириватель.

Топливо для исследования перед загрузкой в установку отмерялось посредством медицинского стерильного шприца.

Залитое в установку топливо предварительно нагревалось до рабочей температуры 60 ^{0}C. Данная температура поддерживалась для каждой пробы топлива на протяжении всего исследования.

Процесс возвратно-поступательного движения высокой частоты шарика (50 Гц, амплитуда 1 мм) по пластинке, находящейся на дне ванны установки с топливом, длился согласно ГОСТу 75 мин на каждый опыт. По истечении времени производилась замена топлива на другую пробу, менялась пара шарик-пластинка.

Шарик и пластинка после обработки обезжиривателем маркировались, упаковывались отдельно и транспортировались в лабораторию для изучения пятен износа под микроскопом.

Для визуальной оценки пятен износа и измерения их размеров необходим микроскоп. В данной ВКР был использован микроскоп ToupCam (рисунок 1) с цифровой камерой UCMOS09000KPB. Максимальное разрешение камеры 3488 x 2616 (примерно 9,000,000 пикселей). Размер пикселя всего 1,67µm x 1,67µm (1,67 мкм x 1,67 мкм) и высокая чувствительность позволяет рассмотреть пятна износа в детальных подробностях.

Рисунок 1 – Цифровой микроскоп ToupCam

Figure 1 – ToupCam digital microscope

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Камера имеет USB-интерфейс, который подключается к персональному компьютеру (ПК). Для просмотра цифрового изображения с камеры на ПК установлено специализированное программное обеспечение ToupView.

Обычно пятно износа представляет собой серию царапин, образовавшихся по направлению движения шарика, которые больше по направлению оси абсцисс, чем по оси ординат.

В некоторых случаях, например, когда проводят испытания эталонных жидкостей с низкой смазывающей способностью, граница между пятном износа и обесцвеченной (но без износа) площадью шарика отчетлива, и размер пятна легко измерить. В других случаях центральная поцарапанная часть пятна окружена менее четкой площадью износа и между площадями с износом и без износа на шарике нет резкой границы. В этих случаях, возможно, будет трудно увидеть или измерить форму пятна, как показано на рисунке 2. Полное пятно износа включает отчетливую и менее отчетливую площадь.

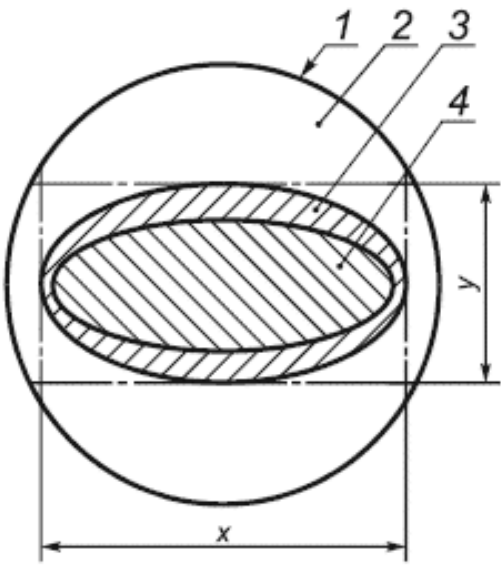


Рисунок 2 – Пример рисунка пятна износа с неясно выраженной границей износа:
1 – шарик; 2 – поверхность, не подвергшаяся износу;
3 – неясно выраженная часть пятна износа;
4 – ясно выраженная часть пятна износа

Figure 2 – Example of a wear spot pattern with an unclear indistinct wear boundary:
1 – ball; 2 – surface not subjected to wear;
3 – vaguely expressed part of the wear spot;
4 – clearly expressed part of the wear spot

Некоррелированный средний диаметр пятна износа MWSD, мкм, рассчитывают по формуле

$$MWSD = \frac{x + y}{2},$$

где x – размер пятна износа, перпендикулярный к направлению возвратно-поступательного движения, мкм;

y – размер пятна износа, параллельный направлению возвратно-поступательного движения, мкм.

В дальнейшем диаметр пятна износа корректировался в соответствии с требованиями ГОСТа с учетом абсолютного давления насыщенных паров, влажности и температуры окружающего воздуха в момент начала и конца испытания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 3 представлены изображения пятен износа шариков (фотографии), полученные при помощи цифрового микроскопа ToupCam. Для удобства на рисунках сразу нанесены размеры этих пятен.

Расчет скорректированного диаметра пятна износа первого шарика производился с учетом ниже приведенных данных.

Были зафиксированы следующие корректирующие характеристики: температура окружающего воздуха T = 23,5 0C, влажность RH = 43%.

Некоррелированный средний диаметр пятна износа MWSD

$$MWSD = \frac{602,9 + 580,3}{2} = 591,6 \text{ мкм};$$

$$v = 8,017352 - \frac{1705,984}{231,864 + 23,5} = 1,337.$$

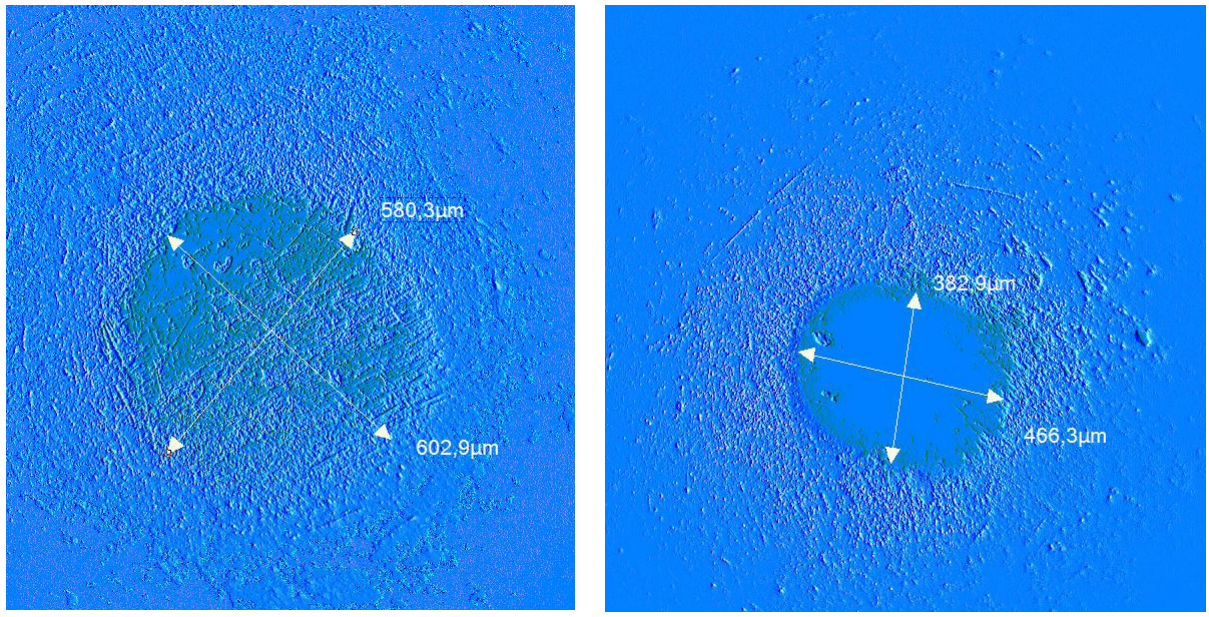
Абсолютное давление насыщенных паров в начале (конце) испытания

$$AVP_1 = \frac{43 \cdot 10^{1,337}}{750} = 1,245.$$

Поправочный коэффициент влажности HCF примем равным 60.

$$WS1,4 = 591,6 + 60 \cdot (1,4 - 1,245) =$$
$$= 600,9 \text{ мкм}.$$

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal



а б

Рисунок 3 – Пятно износа шарика в чистом дизельном топливе без добавок (а) и с добавкой 10% по объему растительного масла (б)

Figure 3 – Ball wear spot in clean diesel fuel without additives (a) and with 10% by volume of vegetable oil added (b)

В процессе проведения анализа шариков под микроскопом температура окружающего воздуха и влажность не изменялись.

Расчёты для других шариков абсолютно аналогичны. Результаты расчётов сведём в таблицу 2.

Таблица 2
Результаты измерения пятен износа и расчётов скорректированных значений диаметров пятен

Table 2
Results of wear spot measurements and calculations of corrected wear spot diameters spot diameters

№	Масло, %	x, мкм	y,мкм	MWSD, мкм	RH1= RH2, %	T1= T2, ^{0}C	v	AVP1= AVP2	WS1,4, мкм
1	0	602,9	580,3	591,6	43	23,5	1,337	1,245	600,90
2	5	495,7	485,1	490,4	43	23,5	1,337	1,245	499,70
3	10	466,3	382,9	424,6	43	23,5	1,337	1,245	433,90
4	15	358,1	298,6	328,35	43	23,5	1,337	1,245	337,65
5	20	345,6	325,8	335,7	43	23,5	1,337	1,245	345,00
6	25	288,2	163,4	225,8	43	23,5	1,337	1,245	235,10

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

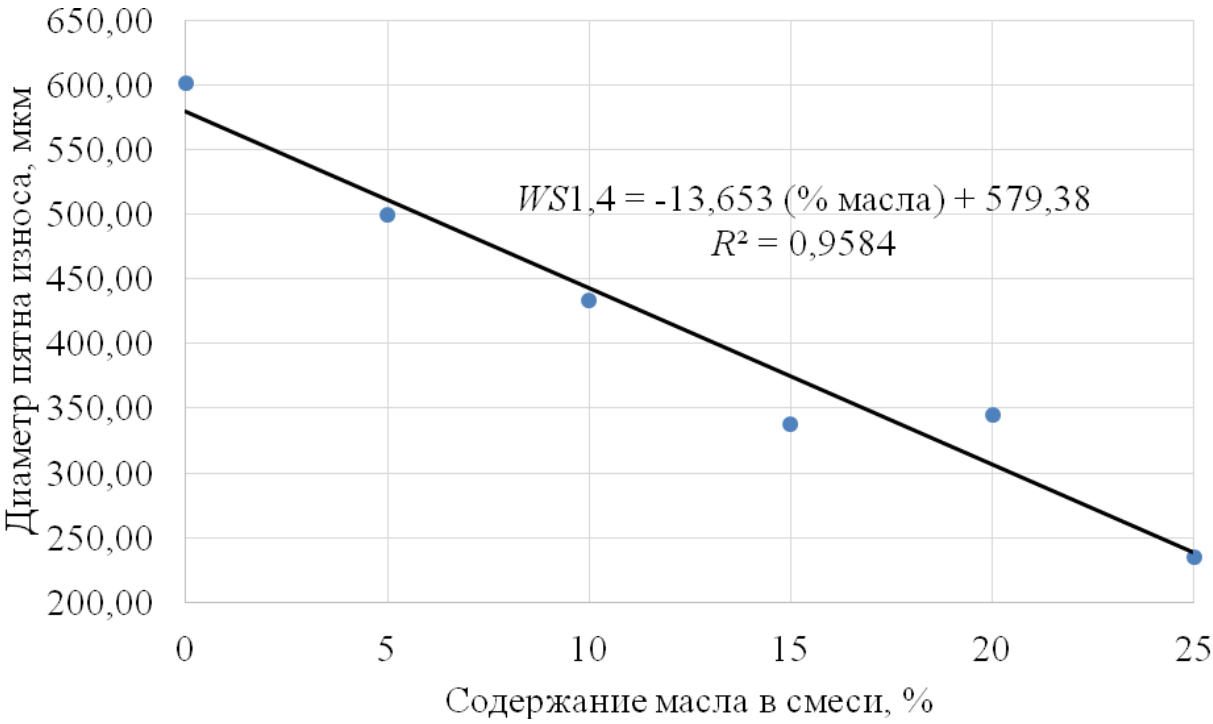


Рисунок 4 – График зависимости диаметра пятна износа шарика от содержания масла в дизельном топливе

Figure 4 – Ball wear spot diameter graph on oil content in diesel fuel

По результатам расчётов представим график зависимости диаметра пятна износа шарика от содержания масла в дизельном топливе (рисунок 4). На графике разместим линейное уравнение линии тренда и коэффициент достоверности аппроксимации R2.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Качество дизельного топлива, реализуемого на АЗС, может не соответствовать требованиям по параметру смазывающих свойств, в частности, у опытного образца диаметр пятна износа шарика больше в 1,3 раза, чем установлено ГОСТ ISO 12156-1–2012.
2. Добавка растительного масла способна улучшать смазывающие свойства дизельного топлива, даже не соответствующего ГОСТу по этому параметру.
3. Проведенные эксперименты позволяют заключить, что добавление растительного масла в процентном отношении δ к дизельному топливу практически линейно снижает диаметр пятна износа. Получено уравнение искомой зависимости

$$WS = - 13,653 \cdot \delta + 579,38 \ (R2 = 0,96).$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пэн Дэсин. Биодизель для улучшения смазывающих свойств дизельных топлив с низким содержанием серы //Химия и технология топлив и масел. 2016. № 6 (598). С. 46–48.
2. Шевченко Е.Б. Биодизель как присадка к дизельному топливу // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2013. № 3. С. 28–30.
3. Хайрудинов И.Р., Жирнов Б.С., Сидрачева И.И. Исследование свойств эфиров рапсового масла и их смесей с малосернистым дизельным топливом // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2011. № 1. С. 43–45.
4. Elbashir N, Ahmed WJ, Alrachid A, Mohammed N, Elwahsh M. (2016). Role of Biodiesel in the Enhancement of GTL Diesel Fuel Properties. Qatar Foundation Annual Research Conference Proceedings

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

2016: EESP2727 http://dx.doi.org/10.5339/qfarc.2016.EESP2727.

5. Chalita Kaewbuddee, Ekarong Sukjit, Jiraphon Srisertpol, Somkiat Maithomklang, Khatha Wathakit, Niti Klinkaew, Pansa Liplap and Weerachai Arjharn Evaluation of Waste Plastic Oil-Biodiesel Blends as Alternative Fuels for Diesel Engines Energies 2020, 13, 2823; doi:10.3390/en13112823

6. Ekarong Sukjit, Karl D Dearn and Athanasios Tsolakis Interrogating the Surface: The Effect of Blended Diesel Fuels on Lubricity SAE Int. J. Fuels Lubr. | Volume 5 | Issue 1 (January 2012)

7. Knothe G., ""Designer" Biodiesel: Optimizing fatty ester composition to improve fuel properties", Energ Fuel 22 (2008) 1358-1364.

8. Lehto, K., Vepsäläinen, A., Kiiski, U., and Kuronen, M., "Diesel Fuel Lubricity Comparisons with HFRR and Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator Methods," *SAE Int. J. Fuels Lubr.* 7(3):842-848, 2014, https://doi.org/10.4271/2014-01-2761.

9. Перекрестов А.П., Клыканова А.А. Улучшение смазочной способности экологически чистого дизельного топлива с помощью магнитно-мицеллярной противоизносной присадки // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 5. С. 5 –7.

10. Кондрашева Н.К., Еремеева А.М. Изучение влияния присадок и добавок на эксплуатационные и экологические характеристики дизельного топлива // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2017. № 38 (64). С. 86–89.

11. Кашапова А.А. Исследование смазывающей способности дизельного топлива // Форум молодых ученых. 2017. № 8 (12). С. 135–137.

12. Исследование влияния длительного хранения дизельного топлива на эксплуатационные характеристики / Нурмухаметова Э.Р., Фатхутдинова Э.Н., Сидоров Г.М., Осипенко Д.Ф. // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 9. С. 88–92.

13. Надежкин А.В., Лыу К.Х. Анализ методов улучшения смазывающей способности малосернистых судовых дистиллятных топлив // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 4. С. 117–121.

14. Получение присадок для дизельного топлива, используемого в сельском хозяйстве / Романцова С.В., Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. //Наука в центральной России. 2017. № 1 (25). С. 54 –62.

15. Синтез противоизносных компонентов топлив из возобновляемого сырья / Корнев А.Ю., Романцова С.В., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т.// Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 170–175.

16. Разработка метода синтеза полифункциональной присадки к дизельному топливу на основе производных карбоновых кислот и исследование эффективности ее действия / Ахметов А.Ф. [и др.] // Нефтегазовое дело. 2021. № 3. С. 110 –123.

17. Применение полиненасыщенных жирных кислот для улучшения противоизносных свойств топлив для реактивных двигателей / Шаталов К.В., Лихтерова Н.М., Серегин Е.П., Кондратенко В.В. // Технологии нефти и газа. 2016. № 3 (104). С. 30–33.

18. Иовлева Е.Л. Исследование качества арктического дизельного топлива, привозимого в Республику Саха (Якутия) // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. №3(80). С. 58 –361.

19. Носова Е.В., Сапрыгина В.Н. Экспериментальное исследование качества дизельного топлива // Вестник ИрГТУ. 2011. № 6 (53). С. 69–72.

20. S N Krivtsov and T I Krivtsova. Variations in health of piezoelectric elements of the Common Rail electric hydraulic nozzles in the operating conditions2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012022pp 9. doi:10.1088/1757-899X/1061/1/012022.

21. Кривцов С.Н. Обоснование необходимости совершенствования стратегии технического сервиса аккумуляторных топливоподающих систем автомобильных дизельных двигателей // Автотранспортное предприятие. 2016. № 8. С. 44–47.

22. Методика и результаты трибологических исследований смесевого рыжико-минерального топлива / Уханов А.П.[и др.] // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 108–116.

23. Керученко Л.С., Веретено И.В. Влияние добавок масел растительного происхождения на смазывающие свойства дизельного топлива // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 4. С. 29–32.

24. Кривцов С.Н., Скребнев К.Е. Топливная экономичность дизельного двигателя при использовании растительных масел в качестве добавки к дизельному топливу // Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 4 (70). С. 64 –70.

REFERENCES

1. Pjen Djesin Biodizel' dlya uluchsheniya smazyvayushchikh svoystv dizel'nykh topliv s nizkim soderzhaniyem sery [Biodiesel for improving the lubricating properties of diesel fuels with low sulfur content] // *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 2016. 6(598): 46-48 (in Russian).

2. Shevchenko Ye.B. Biodizel' kak prisadka k dizel'nomu toplivu Shevchenko Ye.B. Neftepererabotka i neftekhimiya [Biodiesel as an additive to diesel fuel // Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices]// *Nauchno-tekhnicheskiye dostizheniya i peredovoy opyt*. 2013. 3: 28-30(in Russian).

3. Khayrudinov I.R. Issledovaniye svoystv efirov rapsovogo masla i ikh smesey s malosernistym dizel'nym toplivom [Investigation of properties of rapeseed oil esters and their mixtures with low-sulfur diesel fuel] // Khayrudinov I.R., Zhirnov B.S., Sidrachova I.I. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskiye dostizheniya i peredovoy opyt*. 2011. 1: 43-45 (in Russian).

4. Elbashir N, Ahmed WJ, Alrachid A, Mohammed N, Elwahsh M. (2016). Role of Biodiesel in the Enhancement of GTL Diesel Fuel Properties. Qatar Foundation Annual Research Conference Proceedings

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal

2016: EESP2727 http://dx.doi.org/10.5339/qfarc.2016.EESP2727.

5. Chalita Kaewbuddee, Ekarong Sukjit, Jiraphon Srisertpol, Somkiat Maithomklang, Khatha Wathakit, Niti Klinkaew, Pansa Liplap and Weerachai Arjharn Evaluation of Waste Plastic Oil-Biodiesel Blends as Alternative Fuels for Diesel Engines Energies 2020, 13: 2823; doi:10.3390/en13112823

6. Ekarong Sukjit, Karl D Dearn and Athanasios Tsolakis Interrogating the Surface: The Effect of Blended *Diesel Fuels on Lubricity SAE Int. J. Fuels Lubr*. 2012 5.1.

7. Knothe G., "Designer" Biodiesel: Optimizing fatty ester composition to improve fuel properties", *Energ Fuel* 2008 . 22: 1358-1364.

8. Lehto, K., Vepsäläinen, A., Kiiski, U., and Kuronen, M., "Diesel Fuel Lubricity Comparisons with HFRR and Scuffing Load Ball-on-Cylinder Lubricity Evaluator Methods," SAE Int. J. Fuels Lubr. 2014 7(3):842-848, https://doi.org/10.4271/2014-01-2761.

9. Perekrestov A.P., Klykanova A.A. Uluchsheniye smazochnoy sposobnosti ekologicheski chistogo dizel'nogo topliva s pomoshch'yu magnitno-mitsellyarnoy protivoiznosnoy prisadki [Improving the lubricity of environmentally friendly diesel fuel with a magnetic micellar anti-wear additive] // *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse*. 2012. 5: 5-7. (in Russian).

10. Kondrasheva N.K., Yeremeyeva A.M. Izucheniye vliyaniya prisadok i dobavok na ekspluatatsionnyye i ekologicheskiye kharakteristiki dizel'nogo topliva [Study of the effect of additives and additives on the operational and environmental characteristics of diesel fuel] // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta). 2017. 38 (64): 86-89. (in Russian)

11. Kashapova A.A. Issledovaniye smazyvayushchey sposobnosti dizel'nogo topliva [Investigation of the lubricity of diesel fuel] *Forum molodykh uchenykh*. 2017. 8 (12): 135-137 (in Russian).

12. Issledovaniye vliyaniya dlitel'nogo khraneniya dizel'nogo topliva na ekspluatatsionnyye kharakteristiki [Investigation of the effect of long-term storage of diesel fuel on operational characteristics] /Nurmukhametova E.R., Fatkhutdinova E.N., Sidorov G.M., Osipenko D.F. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii*. 2018. 9: 88-92. (in Russian).

13. Nadezhkin A.V. Lyu K.KH. Analiz metodov uluchsheniya smazyvayushchey sposobnosti malosernistykh sudovykh distillyatnykh topliv [Analysis of methods for improving the lubricity of low-sulfur marine distillate fuels] // Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka. 2015. 4: 117-121 (in Russian).

14. Polucheniye prisadok dlya dizel'nogo topliva, ispol'zuyemogo v sel'skom khozyaystven [Obtaining additives for diesel fuel used in agriculture] /Romantsova S.V., Alibayev B.T., Kornev A.YU., Nagornov S.A. // *Nauka v tsentral'noy Rossii*. 2017. 1 (25): 54-62 (in Russian).

15. Sintez protivoiznosnykh komponentov topliv iz vozobnovlyayemogo syr'ya [Synthesis of anti-wear components of fuels from renewable raw materials] // Kornev A.YU., Romantsova S.V., Nagornov S.A., Alibayev B.T. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2017. 1 (22): 170-175 (in Russian).

16. Razrabotka metoda sinteza polifunktsional'noy prisadki k dizel'nomu toplivu na osnove proizvodnykh karbonovykh kislot i issledovaniye effektivnosti yeye deystviya [Development of a method for the synthesis of a multifunctional additive to diesel fuel based on carboxylic acid derivatives and investigation of the effectiveness of its action] / Akhmetov A.F., Khalilov L.M., Baulin O.A., Nel'kenbaum S.YA., Nel'kenbaum K.S. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo*. 2021. 3: 110-123 (in Russian).

17. Shatalov K.V. Primeneniye polinenasyshchennykh zhirnykh kislot dlya uluchsheniya protivoiznosnykh svoystv topliv dlya reaktivnykh dvigateley Shatalov K.V., Likhterova N.M., Seregin Ye.P., Kondratenko V.V. Tekhnologii nefti i gaza. 2016. 3 (104): 30-33 (in Russian).

18. Iovleva Ye.L. Issledovaniye kachestva arkticheskogo dizel'nogo topliva privozimogo v Respubliku Sakha (Yakutiya)[Investigation of the quality of Arctic diesel fuel imported to the Republic of Sakha (Yakutia)] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy.* 2018; 80(3): 358-361 (in Russian).

19. Nosova Ye.V., Saprygina V.N. Eksperimental'noye issledovaniye kachestva dizel'nogo topliva [Experimental study of diesel fuel quality] // *Vestnik IrGTU*. 2011. 6 (53): 69-72 (in Russian).

20. S N Krivtsov and T I Krivtsova. Variations in health of piezoelectric elements of the Common Rail electric hydraulic nozzles in the operating conditions2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012022pp 9. doi:10.1088/1757-899X/1061/1/012022.

21. Krivtsov S.N. Obosnovaniye neobkhodimosti sovershenstvovaniya strategii tekhnicheskogo servisa akkumulyatornykh toplivopodayushchikh sistem avtomobil'nykh dizel'nykh dvigateley [Substantiation of the need to improve the strategy of technical service of battery fuel supply systems of automobile diesel engines] // *Avtotransportnoye predpriyatiye* 2016. 8: 44-47 (in Russian).

22. Metodika i rezul'taty tribologicheskikh issledovaniy smesevogo ryzhiko-mineral'nogo topliva [Methodology and results of tribological studies of mixed ginger-mineral fuel] / Ukhanov A.P., Machnev V.A., Rotanov Ye.G., Khokhlov A.L., Mar'in D.M., Khokhlov A.A. Nauka v tsentral'noy Rossii. 2019. 2 (38): 108-116 (in Russian).

23. Keruchenko L.S. Vereteno I.V. Vliyaniye dobavok masel rastitel'nogo proiskhozhdeniya na smazyvayushchiye svoystva dizel'nogo topliva [The effect of vegetable oil additives on the lubricating properties of diesel fuel]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. 4: 29-32 (in Russian).

24. Krivcov S.N. Skrebnev K.E. Toplivnaja jekonomichnost' dizel'nogo dvigatelja pri ispol'zovanii rastitel'nyh masel v kachestve dobavki k dizel'nomu toplivu [Fuel efficiency of a diesel engine when using vegetable oils as an additive to diesel fuel]. *Transport na al'ternativnom toplive*. 2019. 4 (70): 64-70 (in Russian).

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Кривцов С. Н. – 50%. Кривцова Т. И. – 50%.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Sergey N. Krivtsov 50 %, Tatyana I. Krivtsova 50 %.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРОВ

Кривцов Сергей Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автомобильный транспорт».

Кривцова Татьяна Игоревна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автомобильный транспорт».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey N. Krivtsov – Dr. of Sci., Professor of the Automobile Transport Department.

Tatyana I. Krivtsova – Cand. of Sci., Associate Professor of the Automobile Transport Department.

© 2004–2021 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile and Highway Industry Journal