

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-171148>

Оригинальное исследование



Низкотемпературные свойства топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла

С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова, Н.И. Ковалева

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Двигатели автотракторной техники являются одним из факторов загрязнения окружающей среды вредными веществами и парниковыми газами. В последнее время, наиболее актуальным стало направление безуглеродной или углеродно-нейтральной энергетики. В связи с этим, несомненно, актуальной является задача снижения углеродного следа автотракторной техники, оборудованной ДВС (двигателем внутреннего сгорания). Решить указанную задачу можно, заместив топливо полностью или частично на углеродно-нейтральное (например, на биотопливо), имеющее растительное происхождение.

Цель исследования — изучение низкотемпературных свойств топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла.

Материалы и методы. Эфир растительного масла был получен из очищенного отработанного фритюра методом эстерификации. Далее, путем смешивания полученного эфира с дизельным топливом разных марок и бутанола получили топливные смеси. Исследование вязкостно-температурных показателей и плотности полученных топливных смесей проведено в диапазоне температур от -20 °С, до 40 °С. Методики и оборудование для определения данных параметров соответствуют требованиям ГОСТ.

Результаты. Полученные результаты исследований позволили сделать вывод, что смесевой биодизель в определенных пропорциях может быть использован в качестве топлива и при отрицательных температурах окружающей среды, что не редкость для начала посевной компании весной и окончания полевых работ осенью в резко-континентальных климатических условиях.

Заключение. Практическая ценность исследования заключается в возможности использования топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла при низких температурах.

Ключевые слова: дизельное топливо; биодизель; низкотемпературные свойства; топливные смеси; углеродно-нейтральная энергетика; вязкость; плотность.

Как цитировать:

Кривцов С.Н., Кривцова Т.И., Ковалева Н.И. Низкотемпературные свойства топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 2. С. 91–98. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-171148>

Рукопись получена: 03.02.2023

Рукопись одобрена: 01.04.2023

Опубликована: 15.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-171148>

Original Study Article

Low-temperature properties of fuel blends based on biodiesel derived from frying oil wastes

Sergey N. Krivtsov, Tatiana I. Krivtsova, Nadezhda I. Kovaleva

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Automotive engines are one of the environment pollutants with harmful substances and greenhouse gases. Recently, the field of carbon-free or carbon-neutral energy has become the most relevant. In this regard, the task of reducing the carbon footprint of automotive equipment equipped with internal combustion engines remains urgent. This can be done by complete or partial replacement of the fuel with the carbon-neutral one, such as plant-origin biofuels.

AIMS: Study of low-temperature properties of fuel blends based on biodiesel derived from frying oil wastes.

MATERIALS AND METHODS: The vegetable oil ether was derived from purified frying oil wastes by esterification. Then fuel blends were obtained by mixing the derived ether with diesel fuel of different brands and butanol. The study of viscosity-temperature properties and density of the obtained fuel blends was carried out in the temperature range from -20°C to 40°C . The methods and equipment for determining these parameters meet the requirements of GOST.

RESULTS: The obtained study results helped to conclude that blended biodiesel in certain proportions can be used as fuel even at negative ambient temperatures, which is not uncommon for the start of a sowing campaign in spring and the end of field work in autumn in sharply continental climatic conditions.

CONCLUSIONS: The practical value of the study lies in the possibility of using fuel blends based on biodiesel derived from frying oil wastes at low temperatures.

Keywords: diesel fuel; biodiesel; low-temperature properties; fuel blends; carbon-neutral energy; viscosity; density.

To cite this article:

Krivtsov SN, Krivtsova TI, Kovaleva NI. Low-temperature properties of fuel blends based on biodiesel derived from frying oil wastes. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(2):91–98. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-171148>

Received: 03.02.2023

Accepted: 01.04.2023

Published: 15.05.2023

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, вопрос о глобальной энергетической безопасности является как никогда актуальным. Двигатели автотракторной техники являются одним из загрязнителей окружающей среды вредными веществами и парниковыми газами. В связи с этим, наиболее актуальным стало направление безуглеродной или углеродно-нейтральной энергетики. Основная ставка при этом делается на применении электропривода транспортной и иной техники. Однако, даже самые оптимистичные подсчеты позволяют сделать вывод, что полностью заменить двигатели внутреннего сгорания во многих областях в ближайшее время не удастся [1]. В связи с этим, актуальной остается задача снижения углеродного следа автотракторной техники, оборудованной ДВС. Решить указанную выше проблему можно заместив топливо полностью или частично на углеродно-нейтральное, например, на основе топливных смесей растительного происхождения [2].

Многочисленные исследования показывают, что растительные масла могут быть использованы, как добавка к дизельному топливу [3–6]. В чистом виде их использовать нельзя по причине более высоких значений вязкости, особенно, при отрицательных температурах. В связи с этим, целесообразно вязкость масел понижать. Сделать это можно несколькими путями [6–10]:

1. смешав с менее вязкими компонентами (дизельное топливо, спирты, керосин и т.п.);
2. реакцией этерификации с получением основных компонентов в виде биодизеля и глицериновой фракции;
3. комбинацией первых двух вариантов.

Известно, что вязкость биодизеля на основе метилового эфира рапсового масла ниже, чем подсолнечного и поэтому он предпочтителен для использования в качестве дизельного топлива, как продукт переработки первичных растительных масел [11, 12, 13, 14]. Однако, такие топливные смеси имеют высокую себестоимость. Более привлекательным в таком случае является получение биодизеля из отработанных фритюрных масел, которые являются отходами точек общественного питания и подлежат утилизации [15–17]. В качестве растительных масел при приготовлении пищи в России наиболее часто употребляется подсолнечное масло. Причем использование эфиров отработанного подсолнечного масла для дизельных двигателей автомобилей и иной техники изучено недостаточно. В первую очередь, возможность применения таких топливных композиций при низких температурах.

Многочисленными исследованиями установлено, что для получения эфиров могут быть использованы метиловый, этиловый, изопропиловый и бутиловый спирты (см., например, [8, 9, 11, 16]). Первые два варианта являются более изученными, по причине низкой стоимости

метилового спирта и, в меньшей степени, этилового. В то же время, ряд работ указывает на то, что эфиры на основе высокоатомных спиртов имеют более низкую температуру замерзания и помутнения, нежели, например, метиловый спирт [9]. Кроме того, реакция этерификации с высокоатомными спиртами возможна при более высоком содержании воды, при более высоких температурах и значительно быстрее, чем в случаях использования низкоатомных спиртов (время реакции сокращается более чем в два раза) [17].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование низкотемпературных свойств топливных смесей на основе биодизеля, полученного из отработанного фритюрного масла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Биодизель из отработанного масла получали по следующей методике:

1. очищалось сырье (масло) от мельчайших примесей и воды (исходная масса отработанного растительного масла 300 г). Для этого масло отстаивалось, фильтровалось и нагревалось до высокой температуры с целью удаления воды, после чего охлаждалось;
2. смешивалась порция спирта (20% от ОПМ) с щелочным катализатором гидроксид натрия (1% от ОПМ);
3. смесь нагревалась до 60–80 °С и перемешивалась при этой температуре в течении примерно 1 часа;
4. полученная в результате реакции смесь не расслаивалась, образуя вязкий конгломерат из глицериновой фракции и биодизеля, поэтому после остывания ниже 30 °С фильтровалось через марлевый фильтр;
5. после этого полученный биодизель промывался теплой водой для получения чистого биодизельного топлива.

Получившееся биодизельное топливо (далее – «биодизель») представляет собой прозрачную маслянистую жидкость янтарного цвета со специфическим слабовыраженным запахом.

Для уменьшения плотности биодизеля было решено использовать добавку бутанола, которая составила 20% по массе, при этом получилась новая топливная смесь, которую далее условимся называть В20С.

В дальнейшем образцы полученного биодизеля и В20С смешивались с дизельным топливом. При этом два образца смешивались с летним дизельным топливом: один из которых содержал 20% биодизеля, а другой 20% В20С. Остальные образцы смешивались с дизельным зимним топливом в пропорциях 20%, 40%, 60% и 80% В20С по массе и один 20% биодизеля (рис. 1).

У каждого образца измерялись вязкость и плотность. Вязкость образцов измерялась при температурах



Рис. 1. Образцы топливных смесей для исследования.

Fig. 1. Samples of fuel blends for study.

Таблица 1. Расшифровка образцов с дизельным зимним/летним топливом в пропорциях 20%, 40%, 60% и 80% В20С по массе и один 20% чистого биодизеля

Table 1. Interpretation of samples with winter/summer diesel fuel in proportions of 20%, 40%, 60% and 80% of the В20С by weight and one with 20% of pure biodiesel

Номер образца	Шифр	Расшифровка
1	ЛДТ	Летнее дизельное топливо
2	ЗДТ	Зимнее дизельное топливо
3	ЛДВ 20	Летнее дизельное топливо + 20% биодизеля
4	ЗДВ 20	Зимнее дизельное топливо + 20% биодизеля
5	ЛДВ 20С	Летнее дизельное топливо + 20% биодизеля В20С
6	ЗДВ 20С	Зимнее дизельное топливо + 20% биодизеля В20С
7	ЗДВ 40С	Зимнее дизельное топливо + 40% биодизеля В20С
8	ЗДВ 60С	Зимнее дизельное топливо + 60% биодизеля В20С
9	ЗДВ 80С	Зимнее дизельное топливо + 80% биодизеля В20С
10	В20С	Биодизель В20С

окружающего воздуха -20°C , при 0°C , при 20°C и 40°C . Отрицательные и нулевые температуры достигались помещением образцов в естественные условия (то есть образцы замораживали на улице).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность полученного биодизеля составила при температуре 20°C 880 кг/м^3 , что выше, чем у зимнего дизельного топлива – 825 кг/м^3 (у летнего 830 кг/м^3) и ниже, чем у исходного отработанного фритюрного масла – 920 кг/м^3 (рис. 2).

Добавление спирта к биодизелю показало, что вязкость смеси также снизилась. Сравнение вязкости биодизеля без добавок и В20С представлено на рис. 3.

Анализ данных представленных на рис. 3 позволяет заключить, что вязкость при температуре 0°C снизилась практически в два раза, но все еще осталась высока для базовых значений дизельного топлива, поэтому в дальнейшем исследовались композиции в смеси с дизельным топливом.

Опыты показали, что смеси биодизеля, бутанола и дизельного топлива легко смешиваются, образуя однородную жидкость, и в дальнейшем не расслаиваются.

График зависимости плотности смесевое топлива от процентного содержания биодизеля в зимнем дизельном топливе показал линейное увеличение плотности по мере роста концентрации биодизеля В20С (рис. 4).

Анализ данных графика позволил заключить, что смесевое топливо на основе биодизеля В20С

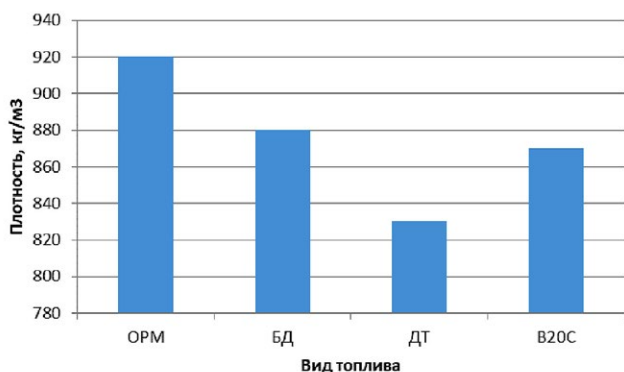


Рис. 2. Диаграмма распределения плотностей для выбранных видов топлива: ОРМ – отработанное растительное масло; БД – биодизель; ДТ – дизельное топливо; В20С – биодизель с 20% содержанием спирта.

Fig. 2. Density distribution diagram for selected fuel types: ORM –vegetable oil wastes; BD – biodiesel; DT – diesel fuel; B20C – biodiesel with 20% alcohol content.

и зимнего дизельного топлива соответствует ГОСТ 32511–2013 по плотности и вязкости с содержанием биодизеля до 40% по массе. Вязкость смесового топлива соответствует ГОСТ при содержании биодизеля уже до 60%, но ключевым показателем для определения процентного содержания биодизеля в топливе являются его низкотемпературные свойства. В частности, вязкость при более низких температурах, температура помутнения и предельная температура фильтруемости.

Замораживание образцов в естественных условиях выявило, что образцы 1, 3, 5, 8, 9, 10 (табл. 1) помутнели и загустели при температуре -20°C , поэтому вязкость данных образцов не измерялась (рис. 5). Это образцы топлив на базе летнего дизельного топлива и с большим процентным содержанием биодизеля В20С (60% и более, (см. табл. 1)).

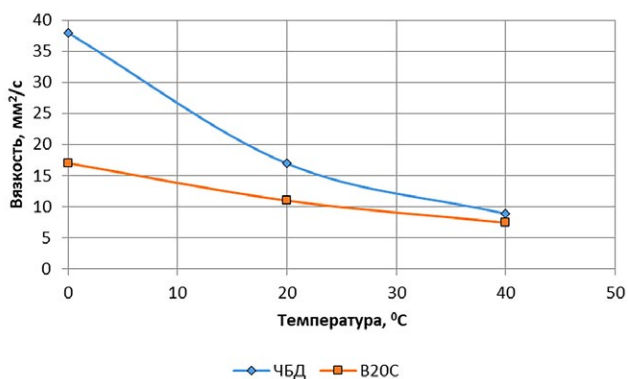


Рис. 3. График зависимости вязкости биодизеля от температуры: ЧБД – биодизель; В20 – биодизель с 20% содержанием спирта.

Fig. 3. Dependence graph of the biodiesel viscosity on temperature: CHBD – biodiesel; B20 – biodiesel with 20% alcohol content.

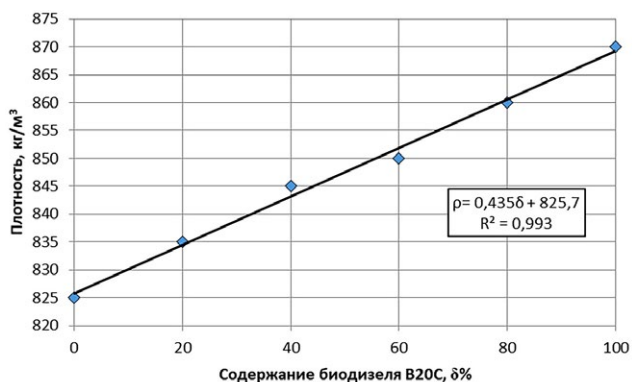


Рис. 4. График зависимости плотности смесового топлива от процентного содержания биодизеля В20С.

Fig. 4. Dependence graph of the fuel blend density on the percentage of the B20C biodiesel.



Рис. 5. Образцы биодизеля с дизельным топливом, помутневшие или застывшие при температуре до -20°C .

Fig. 5. Samples of biodiesel with diesel fuel blurred or frozen at temperature down to -20°C .



Рис. 6. Образцы биодизеля с дизельным топливом, сохранившие текучесть при температуре -20°C .

Fig. 6. Samples of biodiesel with diesel fuel, retained fluidity at a temperature of -20°C .

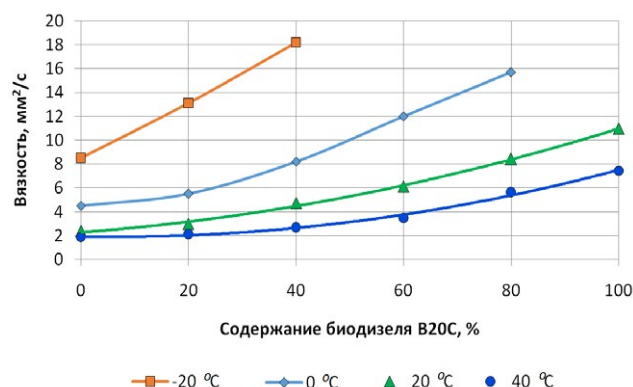


Рис. 7. График зависимости вязкости смесевоего топлива от процентного содержания биодизеля B20C при температурах от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

Fig. 7. Dependence graph of the fuel blends viscosity on the percentage of the B20C biodiesel at temperatures from -20°C to $+40^{\circ}\text{C}$.

При этом четыре образца не помутнели и сохранили текучесть (рис. 6). Это образцы 2, 4, 6, 7 (см. табл. 1).

Совмещенный график вязкости исследуемых образцов от процентного содержания биодизеля в смеси с зимним дизельным топливом представлен на рис. 7.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что вязкость смесевоего топлива при 40°C удовлетворяет требованиям ГОСТ при процентном содержании биодизеля до 60%, но использование такого процентного содержания возможно только до 0°C . Текучесть и фильтруемость топлива при температурах -20°C сохраняется только у топлив с содержанием биодизеля до 40% по массе, однако рекомендовать 40%-ную смесь для эксплуатации при температуре -20°C нельзя по причине значительной вязкости и ухудшенной фильтруемости. Для данной смеси предельно низкая температура составляет около -10°C . Эта же температура является предельной для смеси зимнего дизельного топлива

с 20%-ным содержанием чистого биодизеля из отработанного растительного масла.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Использование биодизеля, полученного из отработанного растительного (фритюрного) масла, при низких температурах возможно только в смеси с зимним дизельным топливом до 20% по массе и при температурах окружающей среды до -10°C ;
2. Для улучшения низкотемпературных свойств смесей биодизеля с зимним дизельным топливом рекомендуется добавка 20% бутанола по массе от биодизеля. При этом появляется возможность использовать смесевые топлива с концентрацией 20% биодизеля B20C до температур окружающей среды до -20°C , а при температурах до -10°C доля замещения дизельного топлива составляет до 40%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. С.Н. Кривцов — написание текста рукописи, экспертная оценка, утверждение финальной версии; Т.И. Кривцова — редактирование текста рукописи, создание изображений; Н.И. Ковалёва — поиск публикаций по теме статьи, редактирование текста рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S.N. Krivtsov — writing the text of the manuscript, expert opinion, approval of the final version; T.I. Krivtsova — editing the text of the manuscript, creating images; N.I. Kovaleva — search for publications on the topic

of the article, editing the text of the manuscript. The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зленко М.А., Теренченко А.С. ДВС – конец эпохи? // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. № 6 С. 38–47.
2. Винаров Ю.В., Кухаренко А.А., Дирина Е.Н. Эффективные направления переработанного растительного сырья в биотопливо // Заводское хозяйство. Экология и промышленность России. 2008. С. 14–18.
3. Марков В.А., Маркова В.В., Сивачев В.М. и др. Оптимизация состава смесевых биотоплив на основе растительных масел для дизельных двигателей // Вестник Волгоградского государственного университета. 2014. №4. С. 86–98.
4. Девянин С.Н. Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008.
5. Кривцов С.Н., Кривцова Т.И., Ковалёва Н.И. Физико-механические свойства дизельных бутаноло-топливных смесей с добавками растительного масла // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. № 6 (90). С. 64–71.
6. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А. и др. Исследование вязкостных характеристик биотоплив на основе растительных масел // Тракторы и сельхозмашины. 2016. Т. 83, № 12. С. 3–9. doi: 10.17816/0321-4443-66237
7. Козлов А.В., Теренченко А.С., Зуев Н.С. Анализ преимуществ и проблем применения биодизельного топлива в двигателях с воспламенением от сжатия // Труды НАМИ: сб. науч. статей. 2015. Вып. 260. С. 81–98.
8. Jani D.B. Critical review on use of different types of bio-diesel as sustainable fuel for Internal Combustion Engines // Open J. Archit. Eng. 2021. Vol. 3. P. 01–07. doi: 10.36811/ojae.2021.110004
9. The biodiesel hand book. Eds: Knothe G., Krahl J., Gerpen J. AOCS Press, 2010.

REFERENCES

1. Zlenko MA, Terenchenko AS. ICE - the end of an era? *Transport na alternativnom toplive*. 2022;6:38–47. (in Russ).
2. Vinarov YuV, Kukharensko AA, Dirina EN. Efficient conversion of processed vegetable raw materials into biofuels. *Zavodskoe khozyaystvo. Ekologiya i promyshlennost Rossii*. 2008;14–18. (in Russ).
3. Markov VA, Markova VV, Sivachev VM, et al. Optimization of the composition of mixed biofuels based on vegetable oils for diesel engines. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014;4:86–98. (in Russ).

10. Лиханов В.А., Чупраков А.И., Зонов А.В. и др. Этаноло-топливная эмульсия и ее влияние на характеристики дизеля Д-240 // Автомобильная промышленность. 2012. № 3. С. 28–29.
11. Lopatin O.P., Likhonov V.A. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 80–86.
12. Каюмов Ш.А., Котов А.О., Лавров Н.С. и др. Возможности получения биодизеля в условиях сельскохозяйственных предприятий малой мощности // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2020. С. 131–135.
13. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Ямчук А.И. Технологии получения биодизельного топлива // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. Т. 7, № 3–2. С. 109–112. doi: 10.17816/2074-0530-68069
14. Demirbas A. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats // Energy conversion and management. 2008. Vol. 49. P. 125–130.
15. Кучкина А.Ю., Сущик Н.Н. Источники сырья, методы и перспективы получения биодизельного топлива // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2014. № 7. С. 14–42.
16. Сатаев М.И., Алтынбеков Р.Ф., Козлов Г.В. и др. Переработка отработанного жарочного масла в биодизельное топливо // Экологические технологии и инновации. 2011. № 4. С. 45–47
17. Allah F Um Min, Alexandru G. Waste cooking oil as source for renewable fuel in Romania // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016. Vol. 147. P. 012133. doi: 10.1088/1757-899X/147/1/012133
18. Sarno M., Iuliano M. Biodiesel production from waste cooking oil // Green Process. Synth. 2019. Vol. 8. P. 828–836. doi: 10.1515/gps-2019-0053

4. Devyanin SN, Markov VA, Semenov VG. *Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines*. Moscow: FGOU VPO MGAU; 2008. (in Russ).
5. Krivtsov SN, Krivtsova TI, Kovaleva NI. Physical and mechanical properties of diesel butanol-fuel mixtures with vegetable oil additives. *Transport na alternativnom toplive*. 2022;6(90):64–71. (in Russ).
6. Markov VA, Devyanin SN, Zykov SA, et al. Investigation of the viscosity characteristics of biofuels based on vegetable oils. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2016;83(12):3–9. (in Russ). doi: 10.17816/0321-4443-66237

7. Kozlov AV, Terenchenko AS, Zuev NS. Analysis of the benefits and challenges of using biodiesel in compression ignition engines. *Trudy NAMI: sb. nauch. statey.* 2015;260:81–98. (in Russ).
8. Jani DB. Critical review on use of different types of bio-diesel as sustainable fuel for Internal Combustion Engines. *Open J. Archit. Eng.* 2021;3:01–07. doi: 10.36811/ojae.2021.110004
9. *The biodiesel hand book.* Eds: Knothe G, Krahl J, Gerpen J. AOCS Press; 2010.
10. Likhanov VA, Chuprakov AI, Zonov AV. Ethanol-fuel emulsion and its influence on the characteristics of the diesel engine D-240. *Avtomobilnaya promyshlennost.* 2012;3:28–29. (in Russ).
11. Lopatin OP, Likhanov VA. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya.* 2019;3:80–86. (in Russ).
12. Kayumov ShA, Kotov AO, Lavrov NS, et al. Possibilities of obtaining biodiesel in the conditions of agricultural enterprises of small capacity. *Nauchno-obrazovatelnyy potentsial molodezhi v reshenii aktualnykh problem XXI veka.* 2020:131–135. (in Russ).
13. Sister VG, Ivannikova EM, Yamchuk AI. Technologies for obtaining biodiesel fuel. *Izvestiya MGTU MAMI.* 2013;7(3-2):109–112. (in Russ). doi: 10.17816/2074-0530-68069
14. Demirbas A. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy conversion and management.* 2008;49:125–130.
15. Kuchkina AY, Sushchik NN. Sources of raw materials, methods and prospects for obtaining biodiesel fuel. *Journal of Siberian Federal University. Biology.* 2014;7:14–42. (in Russ).
16. Sataev MI, Altynbekov RF, Kozlov GV, et al. Processing used frying oil into biodiesel fuel. *Ekologicheskie tekhnologii i innovatsii.* 2011;4:45–47 in Russ).
17. Allah F Um Min, Alexandru G. Waste cooking oil as source for renewable fuel in Romania. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2016;147:012133. doi: 10.1088/1757-899X/147/1/012133
18. Sarno M, Iuliano M. Biodiesel production from waste cooking oil. *Green Process. Synth.* 2019;8:828–836. doi: 10.1515/gps-2019-0053

ОБ АВТОРАХ

* Ковалёва Надежда Игоревна,

аспирант кафедры «Автомобильный транспорт»;
адрес: Российская Федерация, 664074, Иркутск,
ул. Лермонтова, д. 83;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2611-1605>;
eLibrary SPIN: 4898-2574;
e-mail: okladnikova_ni@mail.ru

Кривцов Сергей Николаевич,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Автомобильный транспорт»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0462-8455>;
eLibrary SPIN: 9278-4018;
e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Кривцова Татьяна Игоревна,

канд. техн. наук,
доцент кафедры Автомобильный транспорт»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-2062>;
eLibrary SPIN: 5695-7595;
e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

* Nadezhda I. Kovaleva,

Postgraduate of the Automotive Transport Department;
address: 83, Lermontov street, 66407 Irkutsk,
Russian Federation;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2611-1605>;
eLibrary SPIN: 4898-2574;
e-mail: okladnikova_ni@mail.ru

Sergey N. Krivtsov,

Dr. Sci. (Tech.),
Professor of the Automotive Transport Department;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0462-8455>;
eLibrary SPIN: 9278-4018;
e-mail: krivcov_sergei@mail.ru

Tatiana I. Krivtsova,

Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Automotive Transport Department;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-2062>;
eLibrary SPIN: 5695-7595;
e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru

* Corresponding author