

Научная статья

УДК 621.43.057

DOI: 10.24412/2227-9407-2025-10-33-44

EDN HJIMXJ



Исследование экологических показателей машинно-тракторного агрегата при работе на многокомпонентных биотопливах

Сергей Александрович Плотников^{1✉}, Михаил Александрович Стародумов², Николай Юрьевич Кутергин³,
Александр Леонидович Бирюков⁴, Алексей Валерьевич Масалимов⁵, Василий Леонидович Андреев⁶

^{1, 2, 3} Вятский государственный университет, Киров, Россия

⁴ Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Вологда, Россия

⁵ Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», Новотроицк, Россия

⁶ Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия

¹ PlotnikovSA@bk.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-8887-4591>

² starodumov_99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3181-0770>

³ nik03071983@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7096-9321>

⁴ biryukov_alex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5043-4136>

⁵ a.v.masalimov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4502-2727>

⁶ andreev.vas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2829-3074>

Аннотация

Введение. В настоящее время можно наблюдать бум, связанный с повышенным вниманием к возобновляемым источникам энергии в сельскохозяйственном производстве. Особое внимание отводится источникам энергии растительного и животного происхождения. Нормы по защите окружающей среды прописывают требуемые характеристики как самих энергетических установок, так и применяемых в них источников энергии. Совместное применение рапсового масла и этанола в энергетических установках сельскохозяйственных агрегатов требует определения их влияния на экологические показатели дизеля колесного трактора при выполнении энергозатратных полевых операций.

Материалы и методы. В полевых испытаниях участвовал трактор Беларус-922 в агрегате с культиватором КПС-4. Условия тяговых испытаний соответствовали ГОСТ 7057-2001. Атмосферные данные записывались согласно показаниям ближайшей метеорологической станции. Перед испытаниями трактор подвергся обкатке в объеме 60 мото-часов. Перед полевыми испытаниями производился запуск и прогрев самого двигателя до температуры – 85...95 °С, при этом также прогревалась трансмиссия. Шины трактора отвечали рекомендациям завода, минимальная высота почвозацепов составляла не менее 82 % от номинальной. Давление воздуха в шинах составляло 1,8 кПа в передних колесах и 2,0 кПа в задних. В исследованиях применялись составы МКСТ, включающие 15 % Э + 15 % РМ для первого варианта и 30 % Э + 30 % РМ – для второго. Часовой расход моторного топлива замерялся расходомером ДРТ-5 в комплекте с терминалом СКРТ-31. В конструкцию системы питания дизеля были внесены изменения. Для испытаний был выбран ровный, горизонтальный, прямолинейный участок поля длиной 200 м. Измерения проводились при поддержании заданного тягового усилия в течение не менее 20 с или времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м. Состояние агрегатируемого культиватора отвечало требованиям ГОСТ 33687-2015. Сплошная культивация проводилась поперек предыдущей обработки. Скорость МТА не превышала границ безопасности и соответствовала агротехническим требованиям. Комплект применяемых приборов и оборудования монтировался в кабине трактора

© Плотников С. А., Стародумов М. А., Кутергин Н. Ю., Бирюков А. Л., Масалимов А. В., Андреев В. Л., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

и соединялся с выпускным трактом двигателя. До начала испытаний приборы прошли плановую поверку. Показания приборов записывались, пересчитывались и наносились на графики.

Результаты. Присутствие в МКСТ до 25 % этанола и РМ позволяет снизить выбросы оксидов азота NO_x с 585 до 310 ppm и с 705 до 420 ppm соответственно, снизить уровень диоксида углерода с 5,5 до 4,4 % и с 6,6 до 5,5 % соответственно, при скоростях движения 1,8 и 3,8 км/ч. Выбросы твердых частиц сажи остаются на уровне работы агрегата на чистом ДТ во всем диапазоне исследуемых скоростей движения. Добавка до 25 % этанола и 25 % РМ вызывает рост монооксидов углерода CO до 0,02 % и некоторое снижение выбросов несгоревших углеводородов.

Обсуждение. Экспериментально установлено, что присутствие в МКСТ растительного масла позволяет снизить уровень выбросов термических оксидов азота и дает дополнительное время для доокисления углерода в диоксид углерода CO_2 . Можно констатировать наличие твердых частиц сажи в ОГ на уровне работы на чистом ДТ. Наличие в МКСТ частиц топлива с повышенной молекулярной массой (РМ), несмотря на увеличение времени процесса сгорания, не позволяет добиться полноты их окисления, что вызывает некоторый рост монооксидов углерода CO и несгоревших углеводородов C_xH_y .

Заключение. Применение МКСТ с добавками до 25 % этанола и 25 % рапсового масла в качестве топлива для машинно-тракторного агрегата позволяет на 40...47 % снизить выбросы в атмосферу термических оксидов азота NO_x , на 17...20 % снизить выбросы диоксида углерода, замедляя образование парниковых газов. При этом не ухудшаются показатели дымности. Работа машинно-тракторного агрегата на МКСТ сопровождается некоторым ростом выбросов в атмосферу монооксидов углерода CO и несгоревших углеводородов C_xH_y , однако они менее опасны для человека и животных с физиологической точки зрения.

Ключевые слова: агротехнические требования, машинно-тракторный агрегат, многокомпонентное топливо, культивация, несгоревшие углеводороды, оксиды азота, сажа, трактор

Для цитирования: Плотников С. А., Стародумов М. А., Кутергин Н. Ю., Бирюков А. Л., Масалимов А. В., Андреев В. Л. Исследование экологических показателей машинно-тракторного агрегата при работе на многокомпонентных биотопливах // Вестник НГИЭИ. 2025. № 10 (173). С. 33–44. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-10-33-44. EDN HJIMXJ.

Research of the environmental performance of a machine-tractor unit when operating on multi-component biofuels

Sergej A. Plotnikov¹, Mikhail A. Starodumov², Nikolay Yu. Kutergin³, Aleksandr L. Biryukov⁴,
Aleksy V. Masalimov⁵, Vasily L. Andreev⁶

^{1, 2, 3} Vyatka State University, Kirov, Russia

⁴ Vologda State Dairy Farming Academy by N. V. Vereshchagin, Vologda, Russia

⁵ Novotroitsk Branch of the National University of Science and Technology MISIS, Novotroitsk, Russia

⁶ Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, Knyaginino, Russia

¹ PlotnikovSA@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8887-4591>

² starodumov_99@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3181-0770>

³ nik03071983@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-7096-9321>

⁴ biryukov_alex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5043-4136>

⁵ a.v.masalimov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4502-2727>

⁶ andreev.vas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2829-3074>

Abstract

Introduction. Currently, there is a boom in the use of renewable energy sources in agricultural production. Special attention is being paid to the use of plant-based and animal-based energy sources. Environmental regulations specify the required characteristics of both the energy systems and the energy sources used in them. The combined use of rapeseed oil and ethanol in the energy systems of agricultural machinery requires the determination of their impact on the environmental performance of a diesel-powered wheeled tractor during energy-intensive field operations.

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Materials and methods. The field tests involved a Belarus-922 tractor equipped with a KPS-4 cultivator. The traction test conditions were in accordance with GOST 7057-2001. The atmospheric data was recorded based on the readings of the nearest meteorological station. Before the tests, the tractor underwent a 60-hour run-in period. Before the field tests, the engine was started and warmed up to a temperature of 85–95 °C, and the transmission was also warmed up. The tractor's tires met the manufacturer's recommendations, and the minimum soil-engaging height was at least 82 % of the nominal height. The air pressure in the tires was 1,8 kPa in the front wheels and 2,0 kPa in the rear wheels. The studies used MCMF formulations that included 15 % E + 15 % RSO for the first option and 30 % E + 30 % RSO for the second option. The hourly fuel consumption was measured using a DRT-5 flow meter and a SKRT-31 terminal. Changes were made to the design of the diesel engine's fuel system. A flat, horizontal, straight-line section of the field with a length of 200 m was selected for testing. Measurements were conducted while maintaining the specified traction force for at least 20 seconds or the time required to cover a distance of at least 20 m. The condition of the combined cultivator met the requirements of GOST 33687-2015. The continuous cultivation was performed across the previous cultivation. The speed of the MTU did not exceed the safety limits and met the agronomic requirements. The set of instruments and equipment used was mounted in the tractor cabin and connected to the engine exhaust system. Before the tests began, the instruments were calibrated. The instrument readings were recorded, recalculated, and plotted on graphs.

Results. The presence of up to 25 % ethanol and RSO in the MCMF reduces NO_x emissions from 585 to 310 ppm and from 705 to 420 ppm, respectively, and reduces carbon dioxide levels from 5,5 to 4,4 % and from 6,6 to 5,5 %, respectively, at speeds of 1,8 and 3,8 km/h. The emissions of particulate soot remain at the level of operation of the unit on pure DF in the entire range of the studied speeds of movement. Addition up to 25 % of ethanol and 25 % of RSO causes CO monoxide to 0,02 % and a slight decrease in emissions of unburned hydrocarbons.

Discussion. It has been experimentally established that the presence of vegetable oil in the MCMF reduces the level of thermal nitrogen oxide emissions and provides additional time for the oxidation of carbon into carbon dioxide CO₂. It can be stated that the presence of particulate soot in the exhaust gases is similar to that of pure diesel fuel. Despite the increased combustion time, the presence of fuel particles with a higher molecular weight (RSO) in the MCMF does not allow for complete oxidation, resulting in a slight increase in carbon monoxide CO and unburned hydrocarbons C_xH_y.

Conclusion. The use of MCMF with additives of up to 25 % ethanol and 25 % rapeseed oil as fuel for a machine-tractor unit allows for 40...47 % reduction in atmospheric emissions of thermal nitrogen oxides NO_x, 17...20 % reduction in carbon dioxide emissions, slowing down the formation of greenhouse gases. At the same time, the smoke emission indicators do not deteriorate. The operation of a machine-tractor unit on the MCMF is accompanied by a slight increase in emissions of carbon monoxide CO and unburned hydrocarbons C_xH_y into the atmosphere, but they are less dangerous to humans and animals from a physiological standpoint.

Keywords: agrotechnical requirements, machine tractor unit, multicomponent fuel, cultivation, unburned hydrocarbons, nitrogen oxides, soot, tractor

For citation: Plotnikov S. A., Starodumov M. A., Kutergin N. Yu., Biryukov A. L., Masalimov A. V., Andreev V. L. Research of the environmental performance of a machine-tractor unit when operating on multi-component biofuels // Bulletin NGIEI. 2025. № 10 (173). P. 33–44. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-10-33-44. EDN HJIMXJ.

Введение

В настоящее время можно наблюдать бум, связанный с повышенным вниманием к возобновляемым источникам энергии в сельскохозяйственном производстве. В контексте ухудшения экологической обстановки в окружающей среде внимание исследователей все больше переключается на другие виды моторных топлив. Особое внимание отводится источникам энергии растительного и животного происхождения, получаемым из отходов жизнедеятельности организмов, продуктов переработки биологического сырья. Эти топлива также способству-

ют уменьшению вредных выбросов с отработавшими газами (ОГ) наземных транспортно-технологических средств и комплексов.

Классификацию биологических источников энергии обычно проводят по агрегатному состоянию или по поколениям (рис. 1) [1; 2].

Обычно здесь выделяют три поколения. Первое поколение – это биотоплива, получаемые из пищевых продуктов (чаще всего – растительных и животных жиров). Второе поколение характеризуется применением остатков пищи (уже использованное в приготовлении пищи растительное масло),

TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

сельскохозяйственных отходов (дерево, зеленая масса). Третье поколение включает биотоплива, получаемые на территориях, непригодных для сельскохозяйственного производства (например, посредством фотосинтетических микроводорослей, биомасса которых после выращивания собирается, далее из нее получают фракцию для последующей обработки и получения биотоплива) [1].

Поступательное развитие двигателестроения должно отвечать самым последним требованиям норм охраны окружающей среды. Отмеченные нормы прописывают требуемые характеристики как самих энергетических установок, так и применяемых в них источников энергии [3; 4]. Совершенствование эксплуатационных и моторных свойств биотоплив происходит несколькими путями: со-

вершенствование технологии переработки нефти, производство присадок и добавок в моторные топлива [5; 6; 7], разработка новых, более эффективных источников энергии. Каждый из отмеченных путей предполагает решение задачи разработки новейших технологий, имея в виду то обстоятельство, что новые источники энергии должны полностью отвечать действующим и соответствовать новым, более жестким нормам экологических требований.

Спирты обычно производятся из отходов сельского и лесного хозяйства путем ферментации, перегонки, обезвоживания и денатурации [8]. Применение спиртов в качестве источников энергии в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) весьма затруднено из-за различия их физико-химических свойств со свойствами дизельного топлива (ДТ) [9].

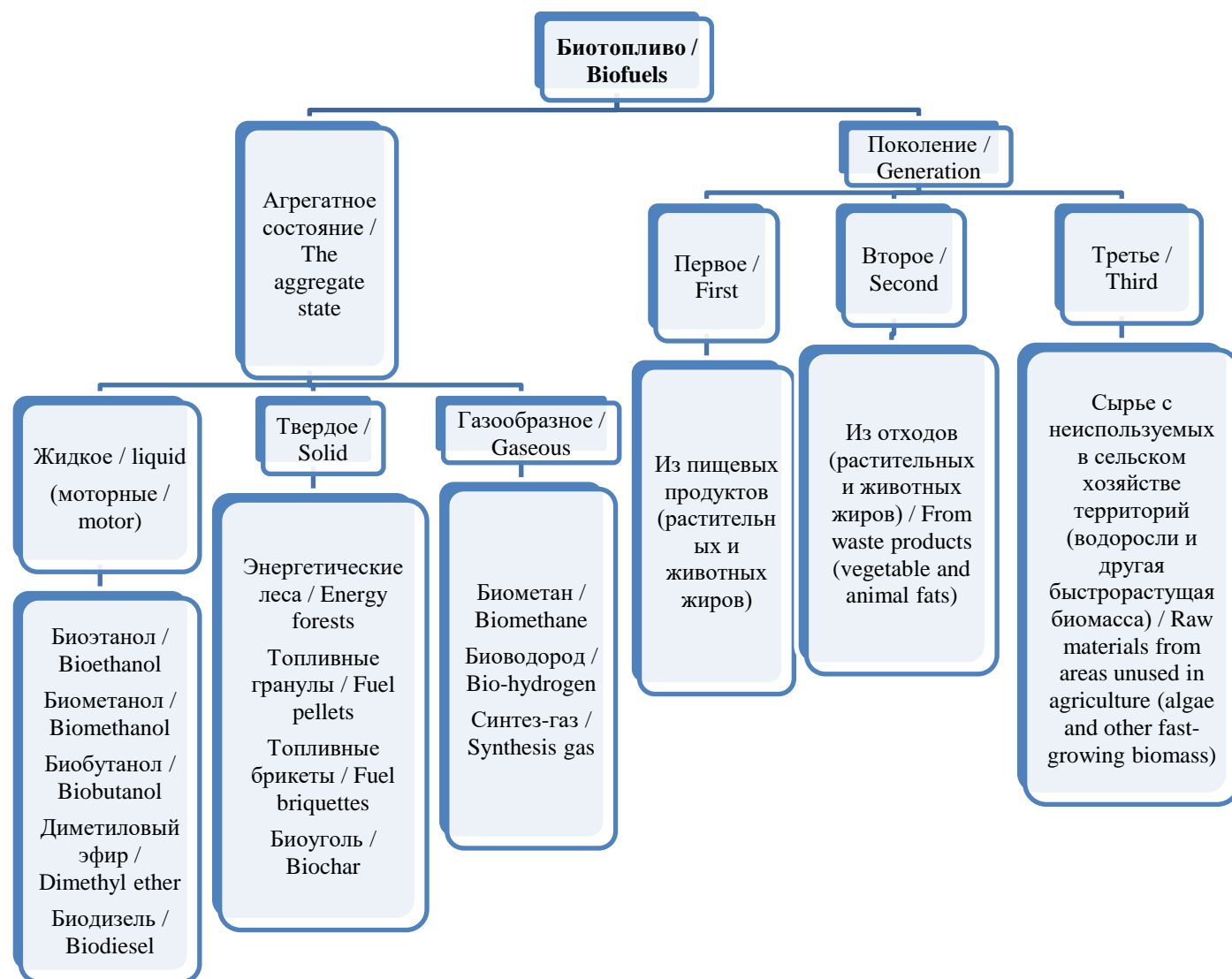


Рис. 1. Классификация биологических топлив

Fig. 1. Classification of biological fuels

Источник: разработано авторами

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Масла, применяемые в ДВС в качестве источников энергии, традиционно являются растительными. Для этих целей активно применяются соевое, подсолнечное, горчичное, рапсовое, рыжиковое и другие масла. Наиболее предпочтительны рапсовое и сурепное масла, достаточно близкие по своим физическо-химическим свойствам. Рапс и сурепица, хотя и различны в ботаническом отношении, но схожи в сельскохозяйственном плане. Обе культуры являются сидератами, обогащая по ходу роста почву азотом и угнетая рост сорняков. Сурепица имеет более высокую урожайность, чем рапс, значит, и больший объем производимого из нее масла. Площади, занятые в РФ сурепицей, существенно меньше, чем у рапса, хотя она выгодно отличается от него своей неприхотливостью, повышенной морозостойкостью, способностью произрастать на разнообразных почвах, повышенными свойствами к биоразложению. Недостатками растительных масел считают их повышенную вязкость, слабые низкотемпературные свойства, сниженную теплотворную способность [10; 11].

В общем списке зарубежных производителей, занимающихся применением в ДВС альтернативных

источников энергии, следует отметить следующие: Digital Realty, John Deere (США), Rio Tinto (Австралия), Ricardo (Англия), Volkswagen, MAN, MWM, Daimler-Benz A.G. (Германия), Komatsu, Nishida Shoun, Marubeni Corporation (Marubeni), Biofuel Technology Research, Tabuchi Kaiun (Tabuchi) (Япония), Zhuoyue New Energy, Zhejiang Jia'ao Environment Protection, Haixin Energy Technology (КНР) и др. [12].

Производством рапсового масла в Республике Беларусь и Российской Федерации также занимаются многие хозяйства. Совместное применение рапсового масла и этанола в виде многокомпонентного смесового топлива (МКСТ) в энергетических установках сельскохозяйственных агрегатов задает новые вопросы исследователям. Среди них – определение влияния МКСТ на основе дизельного с добавками рапсового масла (РМ) и этанола (Э) на экологические показатели дизеля универсально-пропашного колесного трактора при выполнении наиболее энергозатратных полевых операций.

Обзор литературы

Производство и применение биодизельного топлива в странах Евросоюза в последнее десятилетие развивается стремительными темпами (рис. 2).

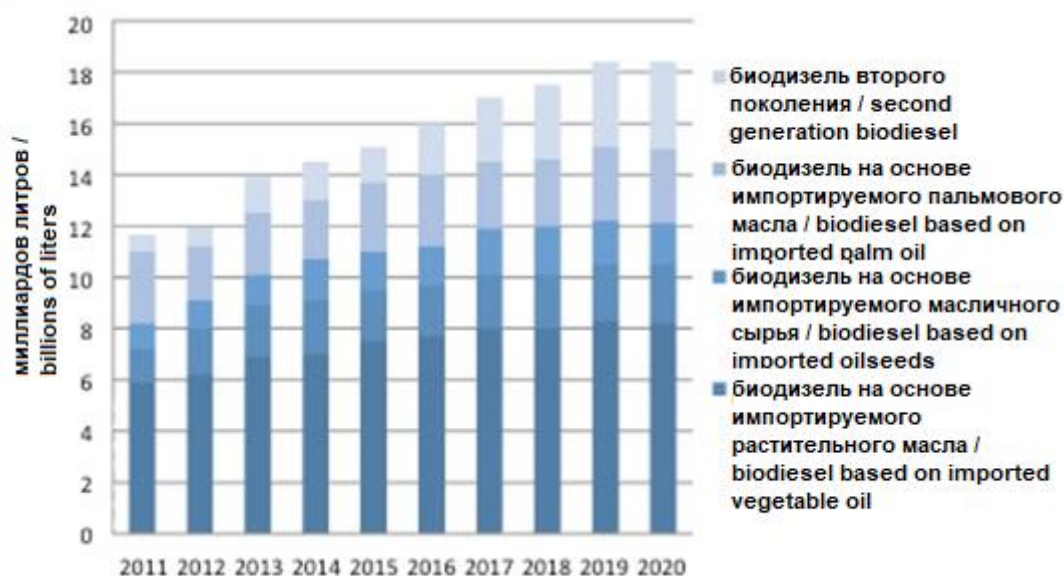


Рис. 2. Производство биодизельного топлива в странах Евросоюза

Fig. 2. Production of biodiesel fuel in the European Union

Источник: разработано авторами

Учитывая общемировую нестабильность в отношении энергетической безопасности стран-участников ОПЕК, разработка отечественных транспортных средств на альтернативных источни-

ках энергии является средством достижения суверенитета топливно-энергетического комплекса РФ.

Работы по применению растительных масел в качестве добавки к ДТ проводилась А. П. Ухановым

TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

и Д. А. Ухановым [13; 14; 15]. Был проведен хроматографический анализ растительного масла и смешанного топлива. Анализ данных показал обратную пропорциональную зависимость между объемом товарного ДТ в смеси и ее жирнокислотным составом. При добавке до 75 % дизельного топлива в смесь был отмечен рост содержания эруковой, стеариновой, бегеновой и арахидиновой кислот.

Исследователями [16; 17; 18] были проведены работы по применению смесей ДТ, РМ и Э в дизеле Д-245.5S2. Установлено, что работа дизеля требует смещения установочного угла опережения впрыскивания в сторону более ранних углов, что объясняется некоторым снижением значения цетанового числа (ЦЧ) суммарного топлива. Отмечена очевидная экономия ДТ на 23,8...42,2 %, допустимая для работы дизеля жесткость процесса сгорания. Экспе-

риментально установлено, что работа дизеля на смешанных топливах позволяет снизить выбросы сажи в ОГ на 4,7...6,1 %.

Экспериментальные данные по применению МКСТ в энергетических установках тракторов при выполнении сельскохозяйственных операций в литературе практически отсутствуют.

Материалы и методы

Исследователями ВятГУ, БГСХА и Вологодской ГМХА были определены экологические показатели работы автотракторного дизеля Д-245.5S2, установленного на трактор Беларус-922 в агрегате с культиватором КПС-4 при применении МКСТ в качестве источника энергии. На рисунке 3 показан общий вид машинно-тракторного агрегата (универсально-пропашной колесный трактор Беларус-922 и культиватор КПС-4), участвующего в испытаниях.



Рис. 3. Общий вид трактора Беларус-922 с культиватором КПС-4 в поле
Fig. 3. General view of the Belarus-922 tractor with the KPS-4 cultivator in the field

Источник: разработано авторами

Условия тяговых испытаний соответствовали ГОСТ 7057-2001. Атмосферные данные – температура и влажность воздуха, записывались согласно показаниям ближайшей метеорологической станции в г. Горки.

Перед испытаниями трактор подвергся обкатке в объеме 60 мото-часов согласно требованиям изготовителя. Перед полевыми испытаниями произ-

водился запуск и прогрев самого двигателя до температуры – 85...95 °С, при этом также прогревалась трансмиссия.

Шины трактора отвечали рекомендациям завода, минимальная высота почвозацепов составляла не менее 82 % от номинальной. Давление воздуха в пневматических шинах составляло 1,8 кПа в передних колесах и 2,0 кПа в задних.

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
 ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

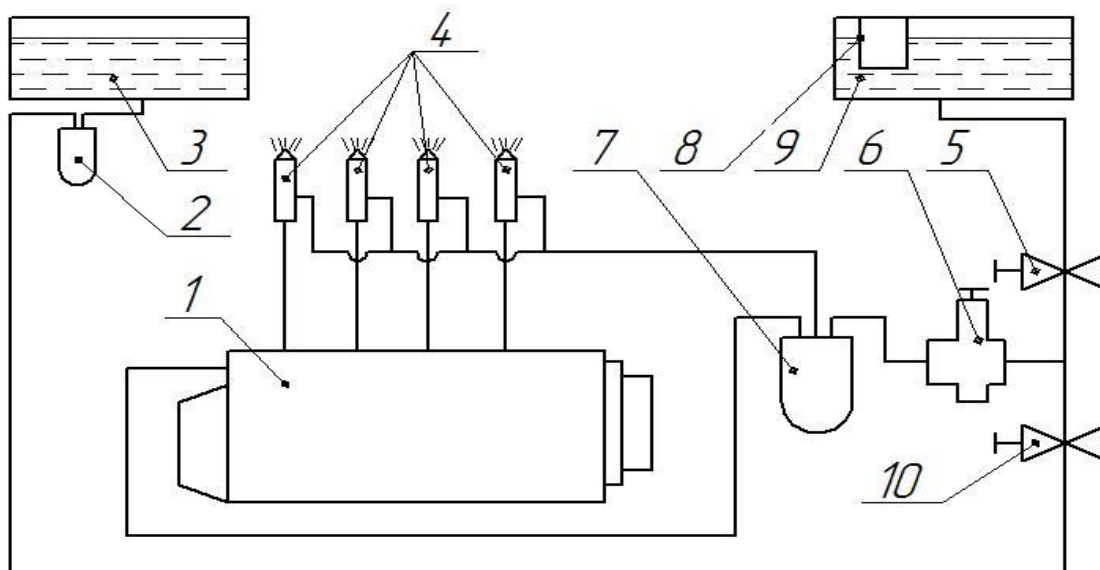


Рис. 4. Модернизированная система питания для работы на МКСТ:

- 1 – топливный насос высокого давления; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – бак основного топлива; 4 – форсунки;
 5 – отсечной кран дополнительного топлива; 6 – подкачивающий насос; 7 – фильтр тонкой очистки;
 8 – смеситель; 9 – бак дополнительного топлива; 10 – отсечной кран основного топлива

Fig. 4. Upgraded power supply system for MCMF operation:

- 1 – high-pressure fuel pump; 2 – coarse filter; 3 – main fuel tank; 4 – injectors; 5 – additional fuel shut-off valve;
 6 – booster pump; 7 – fine filter; 8 – mixer; 9 – additional fuel tank; 10 – main fuel shut-off valve

Источник: разработано авторами

В исследованиях применялись составы МКСТ на основе ДТ, включающие 15 % Э + 15 % РМ для первого варианта и 30 % Э + 30 % РМ – для второго. Часовой расход моторного топлива замерялся расходомером ДРТ-5 в комплекте с терминалом

СКРТ-31. В конструкцию системы питания дизеля были внесены изменения. Составы МКСТ приготавливались в дополнительном баке. После прогрева двигателя производилось переключение питания с ДТ на требуемый состав МКСТ (рис. 4).

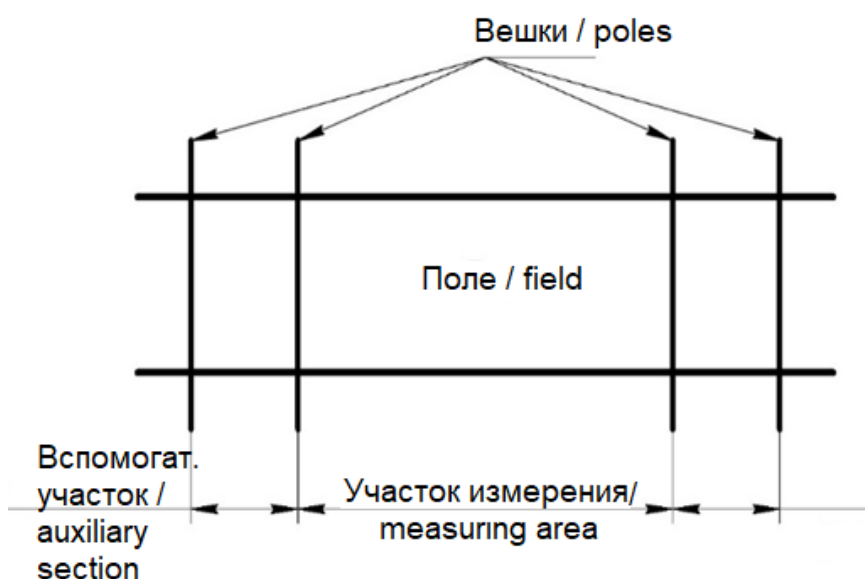


Рис. 5. Схема участка

Fig. 5. Plot outline

Источник: разработано авторами

TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Агротехнические требования к полю и почве соответствовали ГОСТ 20915-2011. Для испытаний был выбран ровный, горизонтальный (с продольным и поперечным уклоном 1 и 3 % соответственно), прямолинейный участок поля длиной 200 м. В начале и в конце участка ставились сдвоенные контрольные вешки высотой 2,0 м. Вспомогательные участки по концам размечались вешками, длина этих участков составляла 50 м. Измерения проводились при поддержании заданного тягового усилия в течение не менее 20 с или времени, необходимого для прохождения расстояния не менее 20 м, в зависимости от того, какое время больше (рис. 5).

Состояние агрегируемого культиватора отвечало требованиям ГОСТ 33687-2015. Сплошная культивация проводилась поперек предыдущей обработки. Скорость МТА не превышала границ без-

опасности и соответствовала агротехническим требованиям.

Комплект применяемых приборов и оборудования монтировался в кабине трактора (рис. 5) и соединялся с выпускным трактом двигателя. Содержание твердых частиц в ОГ (дымность) измерялось дымомером MDO 2 LON, эмиссия токсичных компонентов в ОГ измерялась автоматическим газоанализатором MGT 5. До начала испытаний приборы прошли плановую поверку. Показания приборов записывались, пересчитывались и наносились на графики.

Результаты исследования

На основе проведенных исследований получены зависимости экологических показателей машинно-тракторного агрегата при использовании различных составов МКСТ (рис. 6).

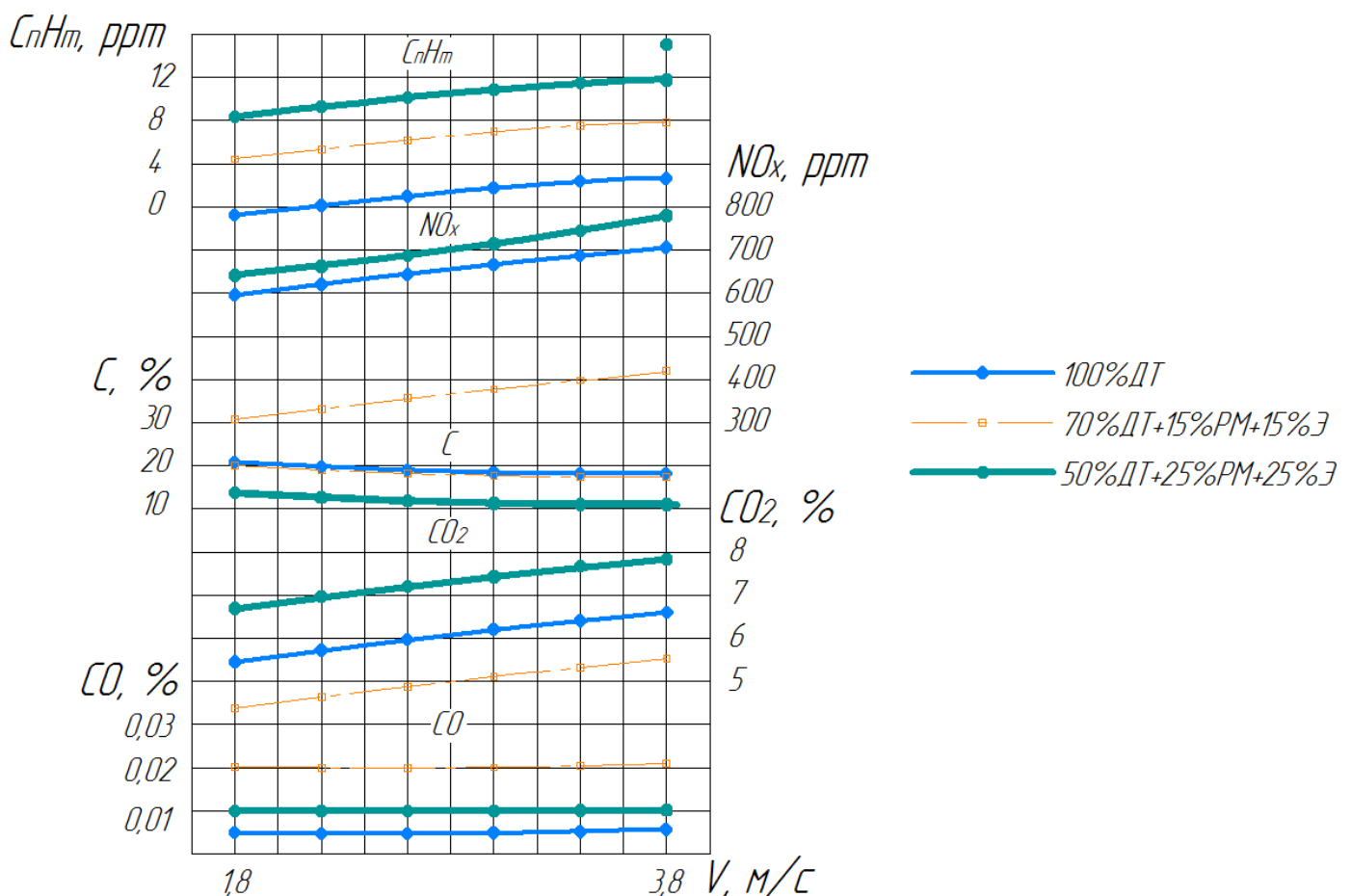


Рис. 6. Экологические показатели машинно-тракторного агрегата
 Fig. 6. Environmental indicators of a machine-tractor unit

Источник: получено авторами

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Присутствие в МКСТ до 25 % этанола и РМ позволяет снизить выбросы оксидов азота NO_x с 585 до 310 ppm и с 705 до 420 ppm соответственно, при скоростях движения 1,8 и 3,8 км/ч.

Присутствие в МКСТ до 25 % этанола и РМ позволяет снизить уровень диоксида углерода с 5,5 до 4,4 % и с 6,6 до 5,5 % соответственно, при скоростях движения 1,8 и 3,8 км/ч.

Выбросы твердых частиц сажи остаются на уровне работы агрегата на чистом ДТ во всем диапазоне исследуемых скоростей движения.

Содержание монооксидов углерода СО в ОГ возрастает для всех составов МКСТ. Так, добавка 15 % этанола и 15 % РМ в топливо вызывает их рост с 0,005 до 0,01 %, а добавка 25 % этанола и 25 % РМ вызывает дальнейший рост до 0,02 %.

Выбросы несгоревших углеводородов C_xH_y изменяются неоднозначно. Добавка 15 % этанола и 15 % РМ в МКСТ вызывает рост выбросов, а дальнейшая добавка до 25 % этанола и 25 % РМ – некоторое снижение.

Обсуждение

Известно, что присутствие в МКСТ растительного масла влечет снижение температуры процесса сгорания, что в итоге позволяет снизить уровень выбросов термических оксидов азота [19; 20].

Снижение скорости процесса сгорания также дает дополнительное время для доокисления углерода в диоксид углерода CO_2 [19; 20].

Снижение скорости и температуры процесса сгорания вначале замедляет образование твердых

частиц сажи, однако в дальнейшем это замедление компенсируется ростом скорости сгорания этанола, что, в конечном итоге, констатирует наличие твердых частиц сажи в ОГ на уровне работы на чистом ДТ [19; 20].

Наличие в МКСТ частиц топлива с повышенной молекулярной массой (РМ), несмотря на увеличение времени процесса сгорания, не позволяет добиться полноты их окисления, что вызывает некоторый рост монооксидов углерода СО и несгоревших углеводородов C_xH_y [19; 20].

Заключение

1. Применение МКСТ с добавками этанола и рапсового масла в качестве топлива для машинно-тракторного агрегата позволяет существенно облегчить экологическую обстановку.

2. Добавка 25 % этанола и 25 % РМ в МКСТ позволяет на 40...47 % снизить выбросы в атмосферу термических оксидов азота NO_x .

3. Добавка 25 % этанола и 25 % РМ в МКСТ позволяет на 17...20 % снизить выбросы диоксида углерода, тем самым замедляя образование парниковых газов.

4. Присутствие в МКСТ этанола и рапсового масла не ухудшают показатели дымности ОГ машинно-тракторного агрегата.

5. Работа машинно-тракторного агрегата на МКСТ сопровождается некоторым ростом выбросов в атмосферу монооксидов углерода СО и несгоревших углеводородов C_xH_y , однако следует помнить, что они менее опасны для человека и животных с физиологической точки зрения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дугин Г. С. Применение биоэтанольного топлива на автотранспорте // Транспорт на альтернативном топливе. 2010. № 5. С. 48–51. EDN: MVWFXL.
2. Пономорева А. А., Самуйлова Е. О., Лесных А. В. Топливо-энергетические ресурсы : учебное пособие. Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2022. 107 с.
3. Марков В. А., Камалтдинов В. Г., Денисов А. Д., Быковская Л. И. Эмульгированные биотоплива для транспортных дизелей / Грузовик. 2019. № 12. С. 16–22. EDN: MPBFAT.
4. Смаль Ф. В., Арсенов Е. Е. Перспективные топлива для автомобилей. Москва : Транспорт, 1979. 151 с.
5. Данилов А. М. Присадки и добавки. Улучшение экологических характеристик нефтяных топлив. М. : Химия, 1996. 232 с.
6. Данилов А. М. Развитие исследований в области присадок к топливам (обзор) // Нефтехимия. 2015. Т. 55, № 3. С. 179. EDN TPWLFH.
7. Шумков А. П., Чиркова Ю. Н., Земский Д. Н. Присадки к дизельному топливу // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 7 (24). С. 238–241. EDN YOSKGT.
8. Марков В. А., Патрахальцев Н. Н. Спиртовые топлива для дизельных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе, 2009. № 6. С. 40–46. EDN: KXVHTJ.

TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

9. Зиненко С. А., Егоров С. А., Макаров А. А. [и др.] Цетаноповышающая присадка «Миакрон-2000» к дизельным топливам // ХТТМ, 2002. № 5. С. 17–20.
10. Марков В. А., Девянин С. Н., Неверова В. В., Быковская Л. И., Быков А. Е. Оптимизация состава смешанного биотоплива для дизельного двигателя // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное Топливо. 2021. Т. 20. № 1. С. 25–38. EDN KFCYUК.
11. Марков В. А., Девянин С. Н., Зыков С. А., Гайдар С. М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания: монография. Москва : НИЦ «Инженер». 2016. 292 с.
12. Лютко В., Луканин В. Н., Хачиян А. С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. М. : Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. 311 с.
13. Уханов А. П., Уханов А. Д., Черняков А. А., Крюков В. В. Использование сурепно-минерального топлива в тракторном дизеле // Нива Поволжья. 2012. № 2 (23). С. 70–75. EDN: OFMNJQ.
14. Уханов Д. А., Рачкин В. А., Иванов В. А., Благодарина Л. М. Влияние ультразвуковой обработки биотоплива на показатели работы тракторного дизеля // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сб. материалов Всероссийской НПК. Пенза : РИО ПГСХА, 2009. С. 11–13.
15. Савельев Г. С. Применение газомоторного и биодизельного топлив в автотракторной технике. М. : ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2009. 216 с.
16. Плотников С. А., Смольников М. В., Шишкин Г. П. Расчёт стабильности этанола-топливной эмульсии для применения в дизелях // Двигателестроение, 2019. № 1 (275). С. 24–27. EDN: ODAKIR.
17. Плотников С. А., Лунева В. В. Создание и применение стабильных метанола-топливных эмульсий в качестве топлива для дизелей // Двигателестроение, 1990. № 10. С. 29–31. EDN: YGJGDV.
18. Плотников С. А. Создание новых альтернативных топлив // Научно-методический электронный журнал «Концепт», 2014. № 10. С. 26–30.
19. Карташевич А. Н., Товстыка В. С., Гордеенко А. В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Минск: Новое знание, 2015. 420 с.
20. Варнатц Юрген, Маас Ульрих, Диббл Роберт. Горение : Физ. и хим. аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ // Пер. с англ. Г. Л. Агафонова ; Под ред. П. А. Власова. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 351 с. ISBN 5-9221-0438-1.

Дата поступления статьи в редакцию 23.07.2025; одобрена после рецензирования 20.08.2025;
принята к публикации 21.08.2025.

Информация об авторах:

- С. А. Плотников** – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения», Spin-код: 4899-9362;
М. А. Стародумов – аспирант кафедры «Технология машиностроения», Spin-код: 6407-9906;
Н. Ю. Кутергин – аспирант кафедры «Технология машиностроения», Spin-код: 1065-5919;
А. Л. Бирюков – к.т.н., доцент, зав. кафедрой энергетических средств и технического сервиса, Spin-код: 1724-3396;
А. В. Масалимов – к.т.н., доцент кафедры математики и естествознания, Spin-код: 7242-9070.
В. Л. Андреев – д.т.н., профессор кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте», Spin-код: 2413-8670.

Заявленный вклад авторов:

- Плотников С. А.** – общее руководство проектом, концепция и инициация исследования, верстка и форматирование работы.
Стародумов М. А. – проведение экспериментов, подготовка текста статьи, подготовка литературного обзора.
Кутергин Н. Ю. – проведение экспериментов, подготовка рисунков и таблиц с результатами исследования.
Бирюков А. Л. – правка текста статьи, визуализация, представление данных в тексте.

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Масалимов А. В. – формулировка концепции исследования, проведение критического анализа материалов и формулировка выводов.

Андреев В. Л. – проведение критического анализа материалов и формирование выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Dugin G. S. Primenenie bioetanol'nogo topliva na avtotransporte [Use of bioethanol fuel in motor transport], *Transport na al'ternativnom toplive [Transport on Alternative Fuel]*, 2010, No. 5, pp. 48–51, EDN: MVWFXL.
2. Ponomoreva A. A., Samujlova E. O., Lesnyh A. V. Toplivno-energeticheskie resursy [Fuel and energy resources], Textbook, Saint Petersburg: NIU ITMO, 2022, 107 p.
3. Markov V. A., Kamaltdinov V. G., Denisov A. D., Bykovskaya L. I. Emul'girovannye biotopliva dlya transportnyh dizelei [Emulsified biofuels for transport diesels], *Gruzovik [Truck]*, 2019, No. 12, pp. 16–22, EDN: MPBFAT.
4. Smal' F. V., Arsenov E. E. Perspektivnye topliva dlya avtomobilei [Advanced fuels for automobiles], Moscow: Transport, 1979, 151 p.
5. Danilov A. M. Prasadki i dobavki. Uluchshenie ekologicheskikh harakteristik neftyanyh topliv [Additives and improvers. Improving environmental characteristics of petroleum fuels], Moscow: Khimiya, 1996, 232 p.
6. Danilov A. M. Razvitie issledovaniy v oblasti prasadok k toplivam (obzor) [Development of research in the field of fuel additives (review)], *Neftekhimiya [Petrochemistry]*, 2015, Vol. 55, No. 3, p. 179, EDN: TPWLFH.
7. Shumkov A. P., Chirkova Yu. N., Zemskij D. N. Prasadki k dizel'nomu toplivu [Additives for diesel fuel], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki [Modern Scientific Research and Development]*, 2018, No. 7 (24), pp. 238–241, EDN: YOSKGT.
8. Markov V. A., Patrakhal'tsev N. N. Spirtovoye topliva dlya dizel'nyh dvigatelei [Alcohol fuels for diesel engines], *Transport na al'ternativnom toplive [Transport on Alternative Fuel]*, 2009, No. 6, pp. 40–46, EDN: KXVHTJ.
9. Zinenko S. A., Egorov S. A., Makarov A. A. [et al.] Cetanopovyshayushchaya prasadka «Miakron-2000» k dizel'nyim toplivam [Cetane-boosting additive «Miakron-2000» for diesel fuels], *HTTM*, 2002, No. 5, pp. 17–20.
10. Markov V. A., Devyanin S. N., Neverova V. V., Bykovskaya L. I., Bykov A. E. Optimizatsiya sostava smesevogo biotopliva dlya dizel'nogo dvigatelya [Optimization of the composition of mixed biofuel for a diesel engine], *Avtogazozapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe Topливо [Auto Refueling Complex + Alternative Fuel]*, 2021, Vol. 20, No. 1, pp. 25–38, EDN: KFCYYK.
11. Markov V. A., Devyanin S. N., Zikov S. A., Gajdar S. M. Biotopliva dlya dvigatelei vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines], monograph, Moscow: NIC «Inzhener», 2016, 292 p.
12. L'otko V., Lukanin V. N., Khachiyani A. S. Primenenie al'ternativnyh topliv v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya [Use of alternative fuels in internal combustion engines], Moscow: Publ. MADI (TU), 2000, 311 p.
13. Ukhanov A. P., Ukhanov A. D., Chernyakov A. A., Kryukov V. V. Ispol'zovanie surepno-mineral'nogo topliva v traktornom dizele [Use of rapeseed-mineral fuel in a tractor diesel], *Niva Povolzh'ya [Volga Region Field]*, 2012, No. 2 (23), pp. 70–75, EDN: OFMNJQ.
14. Ukhanov D. A., Rachkin V. A., Ivanov V. A., Blagodarina L. M. Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki biotopliva na pokazateli raboty traktornogo dizelya [Effect of ultrasonic treatment of biofuel on the performance of a tractor diesel], *Vklad molodyh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii [Contribution of young scientists to the innovative development of the agro-industrial complex of Russia]*, Penza: RIO PGSHA, 2009, pp. 11–13.
15. Savel'ev G. S. Primenenie gazomotornogo i biodizel'nogo topliv v avtotraktornoj tekhnike [Use of gas-motor and biodiesel fuels in automotive and tractor technology], Moscow: GNU VIM Rossel'khozakademii, 2009, 216 p.
16. Plotnikov S. A., Smol'nikov M. V., Shishkin G. P. Raschet stabil'nosti etanolo-toplivnoi emul'sii dlya primeneniya v dize lyakh [Calculation of the stability of ethanol-fuel emulsion for use in diesel engines], *Dvigatel'stroenie [Engine Building]*, 2019, No. 1 (275), pp. 24–27, EDN: ODAKIR.

TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

17. Plotnikov S. A., Luneva V. V. Sozdanie i primenenie stabil'nyh metanolo-toplivnyh emul'sii v kachestve topliva dlya dizelei [Creation and use of stable methanol-fuel emulsions as fuel for diesel engines], *Dvigatellestroenie [Engine Building]*, 1990, No. 10, pp. 29–31, EDN: YGJGDV.

18. Plotnikov S. A. Sozdanie novykh al'ternativnykh topliv [Creation of new alternative fuels], *Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal «Kontsept» [Scientific and Methodological E-journal «Concept»]*, 2014, No. 10, pp. 26–30.

19. Kartashevich A. N., Tovstyka V. S., Gordeenko A. V. Toplivo, smazochnye materialy i tekhnicheskie zhidkosti [Fuel, lubricants and technical fluids], Minsk: Novoe znanie, 2015, 420 p.

20. Varnatz Yu., Maas U., Dibbl R. Gorenje: Fiz. i khim. aspekty, modelirovanie, eksperimenty, obrazovanie zagryaznyayushchih veshchestv [Combustion: physical and chemical aspects, modeling, experiments, formation of pollutants], transl. from English by G. L. Agafonov; ed. by P. A. Vlasov, Moscow: FIZMATLIT, 2003, 351 p., ISBN 5-9221-0438-1.

The article was submitted 23.07.2025; approved after reviewing 20.08.2025; accepted for publication 21.08.2025.

Information about the authors:

S. A. Plotnikov – Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of «Mechanical Engineering Technology», Spin-code: 4899-9362;

M. A. Starodumov – Postgraduate student at the Department of Mechanical Engineering Technology, Spin-code: 6407-9906;

N. Yu. Kutergin – Postgraduate Student of the Department of Mechanical Engineering Technology, Spin-code: 1065-5919;

A. L. Biryukov – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Energy Equipment and Technical Service, Spin-code: 1724-3396;

A. V. Masalimov – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Mathematics and Natural Sciences, Spin code: 7242-9070;

Andreev V. L. – Dr. Sci. (Engineering), professor of the department «Maintenance, organization of transportation and management of transport», Spin-code: 2413-8670.

Contribution of the authors:

Plotnikov S. A. – general project management, concept and initiation of research, layout and formatting of the work.

Starodumov M. A. – conducting experiments, preparing the article text, and preparing a literature review.

Kutergin N. Yu. – conducting experiments, preparing drawings and tables with the research results.

Biryukov A. L. – editing the article text, visualization, and presentation of data in the text.

Masalimov A. V. – formulating the research concept, conducting a critical analysis of the materials, and formulating the conclusions.

Andreev V. L. – critical analysis of materials, formulated conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.