

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 62-592.2

<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp111-117>

Ресурсосберегающая подогреваемая топливная система дизеля

Юрий Николаевич Рыжов¹, Александр Леонидович Севостьянов¹, Виктор Владимирович Виноградов¹, Андрей Владимирович Трудко¹, Игорь Юрьевич Тюрин², Галина Викторовна Левченко²

¹ Орловский государственный аграрный университет, г. Орел, Россия

² Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

e-mail: ryn1979@inbox.ru

Аннотация. В статье представлены конструкция топливной системы для дизельного двигателя, которая позволяет использовать как чистое рапсовое масло, так и его смеси с дизельным топливом, а также трехступенчатая система подогрева топлива, оптимизирующая использование растительного масла. В ходе исследования выявлено влияние температуры, соотношения растительных и минеральных масел на вязкость топлива, что позволило скорректировать рекомендации по использованию смесевых топлив. Созданные устройства помогают использовать рапсовое масло в дизельных двигателях, снижая воздействие на природу и сокращая потребление традиционных топлив, что важно для перехода на экологически чистые источники энергии.

Ключевые слова: топливо, рапсовое масло, кинематическая вязкость, топливная система, многоступенчатый подогрев

Для цитирования: Рыжов Ю. Н., Севостьянов А. Л., Виноградов В. В., Трудко А. В., Тюрин И. Ю., Левченко Г. В. Ресурсосберегающая подогреваемая топливная система дизеля // Аграрный научный журнал. 2026. № 1. С. 111–117. <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp111-117>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Resource-saving heated fuel diesel engine system

Yuri N. Ryzhov¹, Alexander L. Sevostyanov¹, Viktor V. Vinogradov¹, Andrey V. Trudko¹, Igor Yu. Tyurin², Galina V. Levchenko²

¹Orel State Agrarian University, Orel, Russia.

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia. e-mail: ryn1979@inbox.ru

Abstract. The paper presents the design of a diesel engine fuel system that allows the use of both pure rapeseed oil and its blend with diesel fuel, as well as a three-stage fuel heating system that optimizes the use of vegetable oil. The study identified the influence of temperature and the ratio of vegetable and mineral oils on fuel viscosity, which allowed for adjustments to the recommendations for the use of blended fuels. The developed devices facilitate the use of rapeseed oil in diesel engines, reducing environmental impact and reducing the consumption of traditional fuels, which is important for the transition to environmentally friendly energy sources.

Keywords: fuel, rapeseed oil, kinematic viscosity, fuel system, multi-stage heating

For citation: Ryzhov Yu. N., Sevostyanov A. L., Vinogradov V. V., Trudko A. V., Tyurin I. Yu., Levchenko G. V. Resource-saving heated fuel diesel engine system. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2026;(1):111–117. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp111-117>.

Введение. Исследования в области альтернативных и возобновляемых источников энергии давно стали ключевым направлением программ по энергосбережению и рациональному использованию ресурсов в разных странах мира [3, 6, 8]. Научные достижения в таких сферах, как атомная энергетика, солнечные панели, ветрогенераторы, приливная энергия, а также производство и применение биотоплива, не только подтвердили их эффективность, но и обозначили основные задачи для дальнейшего развития этих технологий.



На сегодняшний день биотопливо получило широкое распространение как экологически чистый и возобновляемый источник энергии, что делает его особенно актуальным в условиях глобального перехода к устойчивому развитию.

Цель исследования – определение зависимости кинематической вязкости смесевых топлив от температуры и их состава; разработка устройств, обеспечивающих возможность использования биотоплив на основе рапсового масла в дизельных двигателях.

Материалы и методы. Исследования проводили в лаборатории «Топливо и смазочные материалы», действующей на базе ФГБОУ ВО Орловский ГАУ. Экспериментальные данные были проанализированы с использованием методов интерполяции и экстраполяции для построения зависимостей вязкости топливных смесей от температуры и их состава.

В условиях сельского хозяйства отбеленное рапсовое масло (РМ), соответствующее стандарту V 51605 Германии, представляет собой одну из перспективных альтернатив дизельному топливу (ДТ). Однако его использование в чистом виде в дизельных двигателях сопровождается рядом сложностей, таких как снижение мощности двигателя; увеличение расхода топлива; уменьшение ресурса топливной системы; трудности запуска двигателя в холодное время; повышенное образование нагара и лаковых отложений на деталях.

Главной причиной этих недостатков является высокая кинематическая вязкость РМ по сравнению с ДТ.

Для уменьшения густоты топлива, особенно при работе на территории сельскохозяйственных предприятий, оптимальным решением является нагревание чистого рапсового масла или его смесей с дизельным топливом с высоким содержанием растительных компонентов. Это помогает обеспечить лучшую подачу топлива и уменьшить возможные проблемы при его применении в дизельных двигателях.

С учетом температурных условий и сезонности полевых работ были исследованы зависимости кинематической вязкости чистого рапсового масла и его смесей с дизельным топливом (ДТ) от температуры и содержания РМ в смеси [8].

В ходе экспериментов были использованы образцы рапсового масла, полученные методом горячего отжима с последующей фильтрацией через отстаивание. В качестве исходного сырья применяли сорта рапса Северянин, Сальса, Ахат, Лунеди, Рохан, Краузер, Солар КЛ, Мобиль КЛ, Маяк, Зорны, Проксимо, Столичный, Лидер, Лауреат, Сфинт и Герос.

Дизельное топливо, использованное в исследовании, соответствовало стандартам ГОСТ Р 52368–2005 «Топливо дизельное Евро. Технические условия» и относилось к сорту D, классу 2. Во время эксперимента проводили определение кинематической вязкости для чистого рапсового масла и его смесей с дизельным топливом, при этом содержание ДТ в смесях увеличивалось поэтапно от 0 до 100 % с шагом 10 %. Измерения выполняли в диапазоне температур от 20 до 90 °С.

Для исследования вязкости применяли стандарт ГОСТ 33-2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости». Чтобы нагреть исследуемые смеси, использовалась водяная баня. Само измерение проводилось при помощи капиллярных вискозиметров модели ВПЖ-1м, которые обеспечивали точные результаты.

Основным результатом проведенных исследований стало определение зависимостей кинематической вязкости смесевых топлив от температуры и их состава (рисунки 1, 2).

Результаты исследований. С увеличением доли рапсового масла в смеси уменьшается количество вредных веществ в отработавших газах, снижается стоимость топлива, а также повышается энергоавтономность хозяйств при условии самостоятельного производства РМ. Однако повышение содержания РМ увеличивает кинематическую вязкость смеси, что требует подогрева.

При температуре 0 °С вязкость чистого РМ в 22...36 раз превышает вязкость дизельного топлива. Повышение температуры смесевых топлив до 40 °С приводит к значительному снижению вязкости. Например: У чистого РМ кинематическая вязкость при 40 °С снижается в 4,5 раза по сравнению со значением при 0 °С и составляет 24,503 сСт. При дальнейшем



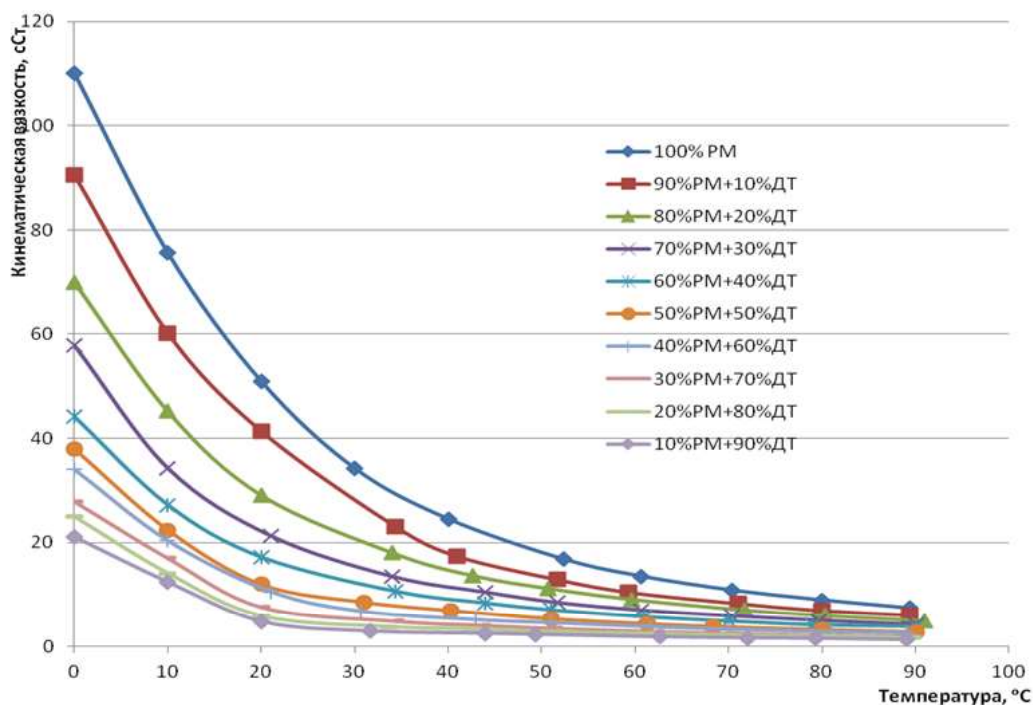


Рисунок 1 – Зависимости кинематической вязкости топливной смеси от температуры и состава

Figure 1 – Dependence of the fuel mixture kinematic viscosity on temperature and composition

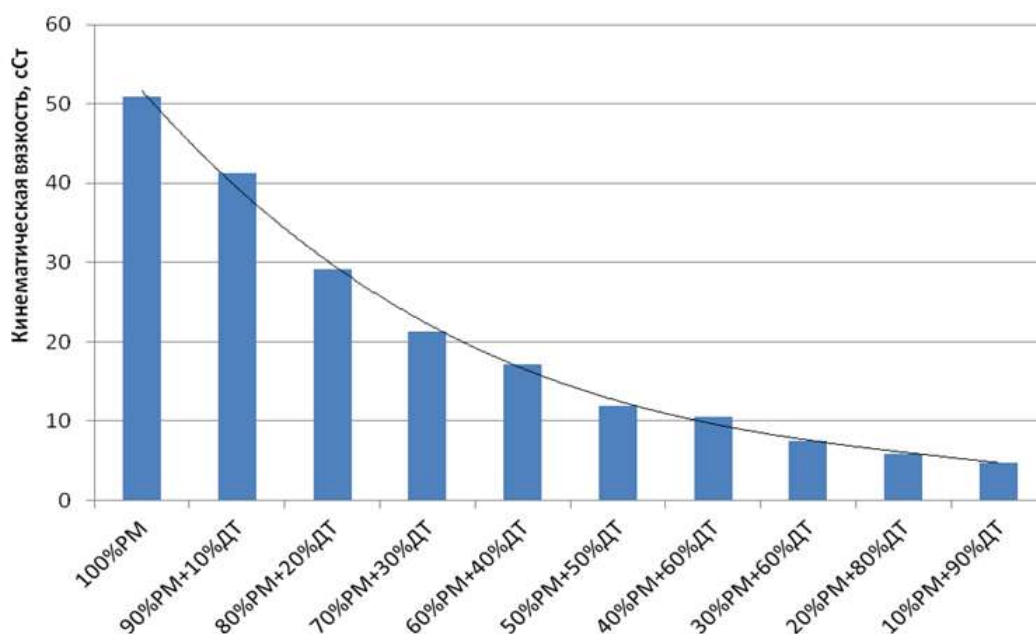


Рисунок 2 – Зависимости кинематической вязкости топливной смеси при температуре 20 °C

Figure 2 – Dependences of the kinematic viscosity of the fuel mixture at a temperature of 20 °C

повышении температуры снижение вязкости происходит более плавно. При нагреве до 90 °C вязкость чистого рапсового масла снижается до примерно 7,384 сСт, что значительно уменьшает эксплуатационные недостатки дизельных двигателей, включая повышенный расход топлива, затрудненный запуск в холодное время года и интенсивное нагарообразование.

Таким образом, подогрев РМ до 90 °C повышает его эффективность и снижает проблемность при использовании в дизельных двигателях отечественного производства.

В температурном диапазоне от 0 до 40 °C все смесевые топлива демонстрируют резкое снижение кинематической вязкости. Добавление дизельного топлива в смеси в объеме 40 % и более способствует значительному уменьшению вязкости [7].





Анализ результатов исследования показал, что топливные смеси с содержанием рапсового масла (РМ) до 30 % могут эффективно использоваться при температуре окружающей среды 20 °С. Однако смеси с низким содержанием РМ оказываются малоэффективными с экологической и экономической точек зрения; смеси с высоким содержанием РМ невозможно использовать без предварительного подогрева из-за высокой вязкости.

Нагрев РМ до 70–90 °С позволяет снизить кинематическую вязкость до допустимых значений; улучшить качество распыла топлива благодаря мелкодисперсному характеру капель; сократить длину факела, что способствует более эффективному смесеобразованию и сгоранию в цилиндрах двигателя.

Таким образом, подогрев РМ увеличивает эффективность и экологичность работы дизельных двигателей на топливных смесях с высоким содержанием рапсового масла. Созданная конструкция (рисунок 3) экономичной подогреваемой топливной системы дизельного двигателя позволяет с пользой применять растительное масло в качестве топлива.

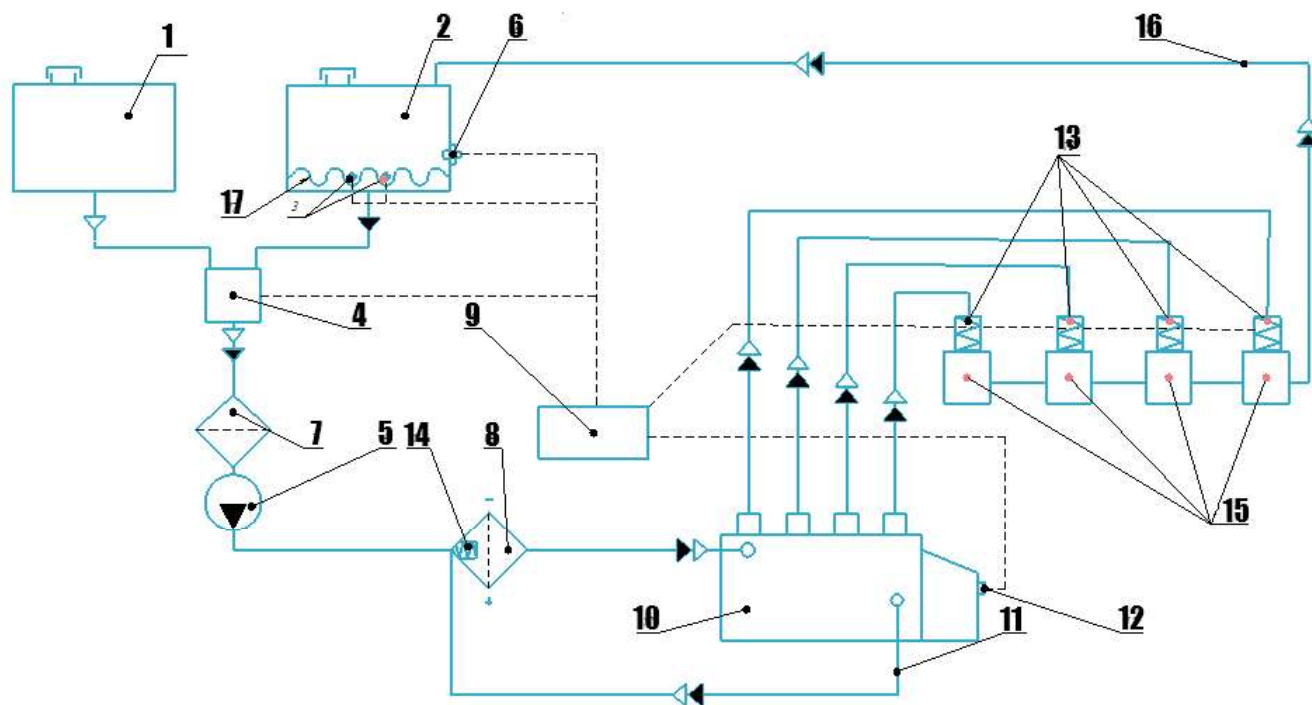


Рисунок 3 – Конструкция ресурсосберегающей топливной системы дизеля для работы на биотопливе
Figure 3 – Design of a resource-saving diesel fuel system for operation on biofuel

Система включает следующие основные элементы: 1 – бак для дизельного топлива предназначен для хранения стандартного топлива; 2 – бак для рапсового масла используется для хранения растительного топлива; 3 – позисторный подогреватель бака необходим для предварительного нагрева растительного масла в резервуаре до температуры 20–30 °С, что улучшает его текучесть. Электрогидрораспределитель – регулирует подачу топлива из баков; 4 – топливоподкачивающий насос – обеспечивает стабильную подачу топлива в систему; 5 – датчик температуры – обеспечивает контроль температуры топлива на всех этапах его движения по системе; 6 – фильтр грубой очистки – удаляет крупные механические примеси, предотвращая их попадание в систему; 7 – фильтр тонкой очистки – выполняет финальную очистку топлива, обеспечивая его высокое качество перед подачей в двигатель; 8 – электронный блок управления (ЭБУ) – управляет работой всех компонентов топливной системы на основе информации, получаемой от датчиков; 9 – топливный насос высокого давления (ТНВД) – создает высокое давление и подает топливо в форсунки для его дальнейшего распыла; 10 – сливная магистраль ТНВД – возвращает излишки топлива обратно в бак, предотвращая перегрузку системы; 11 – датчик положения рейки ТНВД – измеряет положение рейки насоса, контролируя параметры подачи топлива. Позисторный подогреватель форсунок –

подогревает топливо до 80...90 °С непосредственно перед впрыском, улучшая процесс распыла; 12 – позисторный подогреватель фильтра тонкой очистки – поддерживает оптимальную температуру топлива перед подачей в ТНВД; 13 – топливная форсунка – осуществляет впрыск топлива в камеру сгорания; 14 – сливная магистраль форсунок – отводит излишки топлива обратно в бак; 15 – волнистая теплопроводящая перегородка – обеспечивает равномерное распределение тепла в системе подогрева [2].

Данная конструкция позволяет поддерживать необходимую температуру и качество топлива на всех этапах его подготовки, что существенно повышает надежность и эффективность работы дизельного двигателя на растительных топливах.

Первая ступень подогрева. Бак с рапсовым маслом оснащен теплопроводящей волнистой перегородкой, которая делит бак на две части. Обогревательная камера подключена к системе охлаждения двигателя и поддерживает необходимую температуру масла во время работы двигателя. Топливная камера оснащена электроподогревателями, которые позволяют подогреть масло до температуры 20...30 °С. Это обеспечивает достаточную текучесть топлива для его подачи через топливоподкачивающий насос [9].

Вторая ступень подогрева. Включает в себя позисторный подогреватель, встроенный в корпус фильтра тонкой очистки. Позисторный элемент обеспечивает быстрое и точное поддержание температуры в диапазоне 60...70 °С без необходимости дополнительных управляющих устройств. Такой режим работы исключает риск перегрева или пожара, повышая надежность эксплуатации.

Нагрев топливной смеси до заданной температуры улучшает ее текучесть, что позволяет беспрепятственно проходить через фильтр тонкой очистки и обеспечивает стабильную подачу в топливный насос высокого давления. Этапы нагрева помогают сохранить ключевые свойства топлива и гарантируют его бесперебойное использование даже при низких температурах окружающей среды.

Третья ступень нагрева включает в себя использование позисторных подогревателей. Эти устройства располагаются либо сразу перед топливными форсунками, либо внедряются в конструкцию форсунки с применением пьезоэлемента. На данном этапе масло нагревается до 80–90 °С, что улучшает его характеристики для качественного распыла и полного сгорания в двигателе. Подогреватели содержат позисторы, что позволяет им автоматически регулировать температуру в заданном диапазоне, обеспечивая саморегулирование системы.

При температуре 80–90 °С подогрев масла способствует сокращению длины факела и повышению мелкодисперсности распыла, что, в свою очередь, улучшает процесс сгорания и повышает эффективность работы двигателя по сравнению с подогревом при более низких температурах [4].

Принцип работы системы. Запуск и последующий прогрев двигателя выполняются на стандартном минеральном дизельном топливе. В процессе прогрева и работы двигателя на дизельном топливе подогреватели, установленные в фильтре грубой очистки и перед форсунками, остаются выключенными. Избыточное дизельное топливо, возвращающееся из форсунок и топливного насоса высокого давления, направляется по сливным магистралям в фильтр тонкой очистки. Там оно очищается и может быть использовано повторно в системе топливоподачи.

Эта схема работы позволяет выполнить плавный переход на использование рапсового масла после завершения прогрева двигателя. Это обеспечивает надежную работу двигателя на биотопливе при разных температурных режимах и нагрузках. Во время прогрева охлаждающая жидкость циркулирует через камеру нагрева бака с рапсовым маслом. Как только температура масла достигает 20–30 °С, электронный блок управления переключает гидрораспределитель на подачу рапсового масла. В этот момент активируются подогреватели, которые размещены в фильтре грубой очистки и перед форсунками, что позволяет использовать биотопливо даже при низких температурах окружающей среды [3].

Процесс подачи рапсового масла. После переключения распределителя подача дизельного топлива прекращается.



Топливоподкачивающий насос начинает подавать рапсовое масло, предварительно подогретое до 20–30 °С, из бака через фильтр грубой очистки, в котором установлен позисторный подогреватель. На этом этапе масло дополнительно нагревается до 60–70 °С.

После этого масло проходит через фильтр тонкой очистки и подается в топливный насос высокого давления. В ТНВД оно перенаправляется через позисторные подогреватели, установленные перед топливными форсунками. Здесь масло нагревается до 80–90 °С, что обеспечивает его оптимальные свойства для качественного распыла и полного сгорания в двигателе. Подогретое масло впрыскивается форсунками в камеру сгорания двигателя [6]. Эта система позволяет плавно переходить от работы на дизельном топливе к использованию рапсового масла при обеспечении стабильной работы двигателя и эффективного сгорания топлива, независимо от условий эксплуатации [1].

Электрические подогреватели, установленные в фильтре тонкой очистки и перед форсунками, играют ключевую роль в обеспечении точного и быстрого подогрева рапсового масла до требуемых температур. Это позволяет системе топливоподачи эффективно функционировать при низких температурах, улучшая параметры распыла и сгорания.

Процесс остановки двигателя. Перед остановкой двигателя топливная система переключается на использование дизельного топлива. Это позволяет очистить систему от остатков рапсового масла и предотвратить возможные проблемы при последующем запуске.

Двигатель работает на дизельном топливе в течение 3–5 мин, чтобы полностью прокачать минеральное топливо по системе питания [5].

Структура подогреваемого топливного бака. Подогревателем первой ступени служит бак для рапсового масла, который состоит из двух резервуаров: верхнего и нижнего, соединенных между собой. Теплопроводящая перегородка, находящаяся внутри бака, делит его на две части: обогревательную и топливную.

В топливной камере располагаются четыре подогревателя, которые обеспечивают подогрев масла до требуемой температуры.

Использование разработанной подогреваемой топливной системы в тракторных двигателях позволяет эффективно использовать растительное масло в качестве топлива, даже в холодное время года, что улучшает экологическую обстановку и снижает зависимость от ископаемых видов топлива, повысить эффективность работы двигателя при применении биотоплива благодаря оптимальному подогреву и улучшенному процессу сгорания рапсового масла.

Данная система, основанная на контролируемом подогреве топлива, обеспечивает стабильную и надежную работу двигателя в различных климатических условиях, особенно в зимний период.

Заключение. Применение ресурсосберегающей подогреваемой топливной системы тракторного дизеля с трехступенчатым подогревом позволяет эффективно использовать биотопливо на основе рапсового масла в качестве основного топлива. Это способствует снижению затрат на топливо, уменьшению вредных выбросов в атмосферу и снижению зависимости от исчерпаемых запасов нефтепродуктов.

В результате проведенных исследований достигнуты следующие ключевые результаты: определены зависимости кинематической вязкости от температуры и состава смесового топлива; дополнены рекомендации по использованию смесовых топлив на основе растительных масел; разработаны устройства, обеспечивающие возможность применения биотоплива на основе рапсового масла в дизельных двигателях. Эти результаты открывают новые перспективы для более эффективного и экологически безопасного применения биотоплива в сельскохозяйственной и промышленной технике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батыров В. И., Шапсигов А. М. Использование биотоплива на основе рапсового масла, как моторное топливо для дизелей // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России: сб. науч. трудов VIII Всерос. науч.-практ. конф., Нальчик, 25–26 апреля 2019 года. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет. 2019. С. 46–48.



2. Батыров В. И., Шекихачева Л. З., Болотоков А. Л. Перспективы использования биотоплива на основе рапсового масла в качестве моторного для дизелей // Человек и современный мир. 2019. № 1(26). С. 107–115.
3. Васильев П. Перспективы биотоплива о России // В мире науки. 2008. № 9. С. 6–8.
4. Жосан А. А., Рыжов Ю. Н., Курочкин А. А. Впрыск и горение рапсового масла и дизельного топлива в современных дизелях // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. № 1(34). С. 130–131.
5. Паршутин Д. А. Производство биотоплива: роль в развитии сельскохозяйственного комплекса развивающихся стран // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. Вступление. Путь в науку. 2012. № 2(2). С. 84–90.
6. Подогрев как способ повышения эффективности использования рапсового масла в качестве топлива / Ю.Н. Рыжов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 6. С. 5–7.
7. Рыжов Ю. Н., Жосан А. А., Курочкин А. А. Особенности впрыскивания и горения рапсового масла и дизельного топлива в современных двигателях // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 6. С. 19–20.
8. Рыжов Ю. Н., Иншаков А. П., Курочкин А. А. Двухтопливная система тракторного дизеля с многоступенчатым подогревом // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 6. С. 11–13.
9. Рыжов Ю. Н., Трудко А. В. Рапсовое масло как альтернатива дизельному топливу. Профессия инженер // Сб. статей по материалам XI Всерос. молодежной науч.-практ. конф., Орел, 14 апреля 2023 года / под общ. ред. А.Л. Севостьянова. Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина. 2023. С. 287–292.

REFERENCES

1. Batyrov V. I., Shapsigov A. M. Use of biofuel based on rapeseed oil as motor fuel for diesel engines. Engineering Support For Innovative Development Of The Agro-Industrial Complex Of Russia: collection of scientific papers of the VIII All-Russian scientific and practical conf., Nalchik, April 25-26, 2019. Nalchik, 2019:46–48. (In Russ.).
2. Batyrov V. I., Shekikhacheva L. Z., Bolotokov A. L. Prospects for the use of biofuel based on rapeseed oil as motor fuel for diesel engines. *Man and the Modern World*. 2019;1(26):107–115. (In Russ.).
3. Vasiliev P. Prospects for biofuels in Russia. *In the World of Science*. 2008;9:6–8. (In Russ.).
4. Zhosan A. A., Ryzhov Yu. N., Kurochkin A. A. Injection and combustion of rapeseed oil and diesel fuel in modern diesel engines. *Bulletin of the Oryol State Agrarian University*. 2012;1(34):130–131. (In Russ.).
5. Parshutin D. A. Biofuel production: its role in the development of the agricultural complex of developing countries. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics. Introduction. Path to Science*. 2012;2(2):84–90. (In Russ.).
6. Heating as a method for increasing the efficiency of using rapeseed oil as a fuel / Yu. N. Ryzhov et al. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2013;(6):5–7. (In Russ.).
7. Ryzhov Yu. N., Zhosan A. A., Kurochkin A. A. Features of injection and combustion of rapeseed oil and diesel fuel in modern engines. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2012;(6):19–20. (In Russ.).
8. Ryzhov Yu. N., Inshakov A. P., Kurochkin A. A. Dual-fuel system of tractor diesel with multi-stage heating. *Tractors and agricultural machinery*. 2014;(6):11–13. (In Russ.).
9. Ryzhov Yu. N., Trudko A. V. Rapeseed oil as an alternative to diesel fuel. The profession of engineer. Collection of articles based on the materials of the XI All-Russian youth scientific and practical Conf., Orel, April 14, 2023 / under the general. ed. A.L. Sevostyanov. Orel: Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 2023:287–292. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 03.02.2025; одобрена после рецензирования 27.04.2025; принята к публикации 20.05.2025. The article was submitted 03.02.2025; approved after reviewing 27.04.2025; accepted for publication 20.05.2025.

