

Определение кинематической вязкости и плотности дизельного смесевоего топлива

А. А. Хохлов[✉], доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

А. Л. Хохлов, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

А. А. Цыбин, аспирант

¹ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

[✉]khokhlov.73@mail.ru

Резюме. В статье представлены оборудование, методика и результаты экспериментального исследования физико-химических свойств дизельного смесевоего топлива с различным содержанием биоконпонента – рыжикового масла. Целью работы являлось определение кинематической вязкости и плотности топливных смесей в зависимости от температуры (-10 °C... +80 °C). Измерения кинематической вязкости проводились на капиллярных вискозиметрах Пинкевича в соответствии с ГОСТ 33-2016, а плотность определялась с помощью ареометра АНТ-1 по ГОСТ 51069-97. Для обеспечения точности измерений кинематической вязкости и плотности топливных смесей в зависимости от температуры использовался криотермостат LOIPLT-912, позволяющий поддерживать заданную температуру. С ростом процентного содержания рыжикового масла в топливной смеси значения вязкости и плотности закономерно увеличиваются, причем наиболее резко — при отрицательных температурах. Критическим порогом для практического применения является температура +60 °C: при ее достижении топливные смеси с содержанием биоконпонента до 50% по своим вязкостно-плотностным характеристикам приближаются к стандартным требованиям для обычного дизельного топлива. Нагрев до +60 °C позволяет использовать смеси с содержанием RmO до 50% (вязкость 4,5 мм²/с), которые попадают в диапазон, установленный для летнего дизельного топлива (3,0...6,0 мм²/с). Полученные данные необходимы для оценки пригодности и эксплуатационных характеристик смесевых дизельных топлив с повышенным содержанием биоконпонентов. Полученные результаты имеют существенную практическую ценность для сельскохозяйственных предприятий, рассматривающих возможность использования возобновляемых топливных ресурсов, а также для конструкторов и инженеров, занимающихся адаптацией дизельной техники под альтернативные виды топлива.

Ключевые слова: дизельное смесевое топливо, биотопливо, рыжиковое масло, кинематическая вязкость, плотность, вискозиметр, ареометр, температурная зависимость.

Для цитирования: Хохлов А. А., Хохлов А. Л., Цыбин А. А. Определение кинематической вязкости и плотности дизельного смесевоего топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 229-234. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-229-234

Specification of the kinematic viscosity and density of diesel blend fuel

A. A. Khokhlov[✉], **A. L. Khokhlov**, **A. A. Tsybin**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

[✉]khokhlov.73@mail.ru

Abstract. This article presents the equipment, methodology, and results of an experimental study of the physicochemical properties of diesel blend fuel with varying contents of camelina oil as a biocomponent. The aim of the study was to determine the kinematic viscosity and density of fuel blends depending on temperature (-10°C to +80°C). Kinematic viscosity measurements were performed using Pinkevich capillary viscometers in accordance with the state standard GOST 33-2016, and density was determined using an ANT-1 hydrometer in accordance with the state standard GOST 51069-97. To ensure accurate measurements of kinematic viscosity and density of fuel mixtures depending on temperature, an LOIPLT-912 cryothermostat was used to maintain a preset temperature. As the percentage of camelina oil in the fuel mixture increases, viscosity and density values increase predictably, with the most dramatic increase at sub-zero temperatures. The critical threshold for practical use is +60°C: at this temperature, fuel mixtures containing up to 50% of the biocomponent approach the viscosity and density characteristics of standard diesel fuel. Heating to +60°C allows the use of blends with RmO content of up to 50% (viscosity 4.5 mm²/s), which falls within the range established for summer diesel fuel (3.0–6.0 mm²/s). The obtained data are necessary for assessing the suitability and performance characteristics of blended diesel fuels with an increased content of biocomponents. The obtained results have significant practical value for agricultural enterprises considering the use of renewable fuel resources, as well as for designers and engineers adapting diesel equipment to alternative fuels.

Keywords: diesel blended fuel, biofuel, camelina oil, kinematic viscosity, density, viscometer, hydrometer, temperature dependence.

For citation: Khokhlov A. A., Khokhlov A. L., Tsybin A. A. Specification of the kinematic viscosity and density of diesel blend fuel // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 229-234 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-229-234

Введение

Развитие биоэнергетики и поиск альтернативных видов моторного топлива является стратегическим направлением для обеспечения энергетической безопасности и снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду [1-3]. Одним из наиболее доступных и перспективных видов сырья для производства биотоплива в России является рыжик посевной (*Camelina sativa*), масло которого может использоваться в качестве биокomпонента для дизельных смесевых топлив (ДСТ) [4-6].

Внедрение биотоплив в практику энергоустановок требует всестороннего изучения их физико-химических свойств [7-9], которые непосредственно влияют на работоспособность топливной аппаратуры и процессы смесеобразования и сгорания в двигателе [10-12].

К числу наиболее важных эксплуатационных характеристик относятся кинематическая вязкость и плотность [13]. Вязкость определяет качество распыления топлива форсунками, а от плотности зависят энергетические показатели и корректность работы топливopодкачивающих насосов [14-16].

Для чистых растительных масел и топливных смесей на их основе эти параметры существенно отличаются от стандартных нефтяных дизельных топлив (ДТ) и имеют выраженную температурную зависимость, что является критичным для применения в условиях сезонного изменения климата [17].

Несмотря на имеющиеся исследования в области биотоплив [18-20], системных данных по изменению вязкости и плотности ДСТ с рыжиковым маслом (RmO) в широком диапазоне температур, включая отрицательные, в доступной литературе представлено недостаточно.

Цель исследования – экспериментально определить кинематическую вязкость и плотность дизельных смесевых топлив с различным процентным содержанием рыжикового масла (от 0 до 100%) в температурном диапазоне от минус 10 °С до плюс 80 °С и установление границ их применимости в дизельных двигателях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Приготовить серию образцов дизельного смесевopлива с варьируемым содержанием рыжикового масла.

Экспериментально определить кинематическую вязкость и плотность полученных образцов при заданных температурах с использованием стандартизованных методов и оборудования.

Проанализировать влияние температуры и концентрации биокomпонента на исследуемые параметры.

Материалы и методы

Для дизельного топлива с различным процентным содержанием рыжикового масла были

проведены исследования вязкости в зависимости от температуры согласно стандарту ГОСТ 33-2016.

Вязкость измеряли капиллярными вискозиметрами Пинкевича ВПЖ-4. Вискозиметры подбирали с определенным диаметром капилляра, позволяющим охватить диапазон вязкостей от 0,6 до 1000 сСт, осуществляли из условия, чтобы время истечения жидкости составляло от 20 до 200 сек.

Для поддержания заданной температуры с точностью $\pm 0,01$ °С вискозиметр помещали в криотермостат LOIPLT-912 (рис. 1) и выдерживали в течение 5 минут. Конструкция данного криотермостата включает модуль терморегулирования и кожух со встроенной ванной.

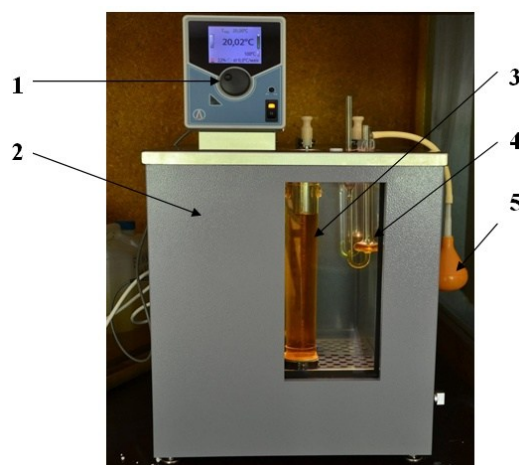


Рис. 1. Комплекс для измерения кинематической вязкости и плотности смесевop минерально-рыжикового топлива: 1 – модуль терморегулирования LOIPLT-912; 2 – модуль охлаждения; 3 – мерный стакан с ареометром АНТ; 4 – вискозиметр ВПЖ-4; 5 – груша

Модуль терморегулирования оснащен: лопастной мешалкой с электрорегулятором, нагревательным элементом, датчиками температуры и уровня жидкости, а также элементами управления и индикации. Термостатирующая ванна выполнена из нержавеющей стали и имеет два прозрачных смотровых окна. В защитном кожухе выполнена теплоизоляция ванны. Для обеспечения стабильной заданной температуры исследуемой топливной смеси использовалась емкость, которая в зависимости от заданной температуры заполнялась дистиллированной водой или охлаждающей жидкостью ОЖ-40 в соответствии с ГОСТ 28084-89.

Кинематическую вязкость ν рассчитывали по формуле

$$\nu = C \cdot t, \text{ мм}^2/\text{с}, \quad (1)$$

где C – калибровочная постоянная мм²/с²; t – среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Плотность исследуемых топливных смесей определялась по ГОСТ 51069-97 с помощью наборов ареометров АНТ-1 в соответствии ГОСТ 18481-81 (рис. 1).

Мерный стакан с исследуемой топливной смесью погружали в ванну криотермостата LOIPLT-912, заполненную дистиллированной водой при положительных температурах и охлаждающей жидкостью при отрицательных температурах, затем задавали необходимую температуру на блоке терморегулирования. Медленно погружали ареометр в исследуемый

образец, не допуская намочения стержня выше уровня погружения ареометра в жидкость. Когда ареометр находился в состоянии покоя, «плавал», не соприкасаясь со стенками мерного стакана, считывали и записывали показания шкалы ареометра.

Данные результатов исследований по определению кинематической вязкости при разной температуре нефтяного ДТ, рыжикового масла и дизельного смесового топлива с различным процентным содержанием компонентов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Вязкость товарного нефтяного дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива

Показатель	Вязкость исследуемых топлив, мм ² /с										
Температура исследуемых топлив, °С	100% ДТ	90%ДТ +10% RmO	80%ДТ +20% RmO	70%ДТ +30% RmO	60%ДТ +40% RmO	50% ДТ +50% RmO	40% ДТ +60% RmO	30% ДТ +70% RmO	20% ДТ +80% RmO	10% ДТ +90% RmO	100% RmO
-10	10,83	14,82	30,81	43,94	61,61	116,30	104,80	111,10	310,30	398,61	598,31
-5	8,82	11,73	16,63	23,12	30,91	40,22	54,52	69,01	107,71	144,61	233,72
0	7,54	9,72	13,72	18,91	25,33	32,04	48,03	53,42	88,92	106,12	142,32
10	4,91	6,53	8,72	12,23	14,82	18,21	23,43	27,53	41,41	62,83	78,61
20	3,83	4,91	6,51	8,82	10,74	13,02	16,54	19,14	28,04	40,62	49,83
30	3,02	3,81	5,04	6,24	7,51	9,74	12,11	13,90	20,12	28,13	33,71
40	2,51	3,13	4,02	4,93	5,83	6,91	9,31	10,54	14,82	20,41	24,01
50	2,14	2,62	3,31	4,01	4,71	5,53	6,02	8,21	11,31	15,54	17,92
60	1,72	2,23	2,72	3,32	3,82	4,50	4,90	6,70	9,00	12,00	13,83
70	1,43	1,91	2,52	2,91	3,54	4,11	4,53	6,12	8,22	10,51	13,21
80	1,31	1,72	2,13	2,52	3,21	3,82	4,23	5,62	6,72	8,62	11,22

Вязкость дизельного смесового топлива с увеличением процентного содержания RmO повышается, но при нагреве до температуры 60 °С приближается к стандартным показателям вязкости летнего нефтяного дизельного топлива (3,0...6,0 мм²/с), так например, у дизельного смесового топлива 50%RmO+50%ДТ кинематическая вязкость равна 4,5 мм²/с и только с увеличением процентного содержания RM до 80% и 90% становится 9,0 мм²/с

и 12,0 мм²/с, что соответственно превышает в 1,5 и 2 раза кинематическую вязкость товарного нефтяного ДТ.

Данные результатов исследований по определению плотности при разной температуре нефтяного ДТ, рыжикового масла и ДСТ с различным процентным содержанием компонентов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Плотность товарного нефтяного дизельного топлива, рыжикового масла и дизельного смесового топлива

Показатель	Плотность исследуемых топлив, кг/м ³										
Температура исследуемых топлив, °С	100% ДТ	90%ДТ +10% RmO	80%ДТ +20% RmO	70%ДТ +30% RmO	60%ДТ +40% RmO	50% ДТ +50% RmO	40% ДТ +60% RmO	30% ДТ +70% RmO	20% ДТ +80% RmO	10% ДТ +90% RmO	100% RmO
-10	850,2	858,3	869,1	876,4	884,1	892,0	904,1	912,0	922,3	931,1	940,2
-5	847,1	855,2	865,4	874,1	882,3	890,2	901,1	909,4	920,1	928,0	938,0
0	844,3	852,1	861,2	870,1	878,3	885,2	896,0	904,1	916,1	925,1	934,1
10	836,0	844,3	854,2	861,3	866,1	873,1	881,1	889,2	896,0	904,2	927,1
20	830,1	838,0	847,3	854,2	860,2	867,2	875,2	883,0	889,2	899,1	923,1
30	822,2	831,1	840,3	847,4	853,2	860,3	868,3	875,2	882,2	892,3	916,2
40	816,2	825,1	834,1	841,1	847,1	852,0	861,0	869,2	876,1	885,1	910,2
50	809,3	818,2	826,0	831,1	839,4	846,4	854,1	861,3	868,0	879,1	903,2
60	802,4	810,2	819,4	827,3	833,1	839,0	850,2	856,1	865,1	876,2	896,0
70	795,0	804,3	814,2	823,3	830,0	835,3	847,2	854,2	862,2	872,2	888,1
80	788,1	797,2	807,2	812,2	823,1	832,2	843,2	850,1	860,3	870,1	881,2

С увеличением процентного содержания RmO плотность повышается и при нагреве смесевое топлива до температуры плюс 60 °C становится близкой стандартным значениям плотности нефтяного ДТ (830...850 кг/м³), так, например, у ДСТ 50%RmO + 50%ДТ при температуре плюс 60 °C плотность равна 839 кг/м³.

Обсуждение

Полученные в ходе исследования результаты демонстрируют четкую зависимость физических свойств (ДСТ) от двух ключевых факторов: массовой доли биокон компонента и температуры. Анализ экспериментальных данных позволяет не только констатировать эти зависимости, но и выявить ряд важных закономерностей, имеющих практическое значение для применения ДСТ.

Влияние состава смеси и температуры на вязкость. Как и следовало ожидать, рост процентного содержания рыжикового масла в смеси с нефтяным дизельным топливом приводит к значительному увеличению кинематической вязкости. Это объясняется более высокой молекулярной массой и наличием полярных групп в молекулах триглицеридов, составляющих основу растительного масла, что приводит к усилению межмолекулярного взаимодействия [7-9].

Однако наиболее важным результатом является нелинейный характер этого роста, особенно выраженный при низких температурах. Например, при -10 °C вязкость смеси 20% ДТ / 80% RmO (310,3 мм²/с) на порядок превышает вязкость чистого ДТ (10,8 мм²/с) и почти в три раза выше вязкости смеси 30% ДТ / 70% RmO (111,1 мм²/с). Это свидетельствует о том, что после превышения определенного порога процентного содержания (в данном случае 70...80% RmO) вязкостные свойства смеси начинают определяться в основном структурой растительного масла, что критично для работы топливной аппаратуры [10-12].

С другой стороны, продемонстрирована высокая эффективность термомодификации для приведения вязкости ДСТ к приемлемым значениям. Нагрев до +60 °C позволяет использовать смеси с содержанием RmO до 50% (вязкость 4,5 мм²/с), которые попадают в диапазон, установленный для летнего дизельного топлива (3,0...6,0 мм²/с). Это согласуется с данными других исследований, посвященных биотопливам [14-16], и подтверждает универсальность подхода с подогревом для снижения вязкости растительных масел.

Аналогичная тенденция наблюдается и для плотности. Увеличение доли RmO закономерно повышает плотность топливной смеси, что связано с более высокой плотностью самого растительного масла по сравнению с нефтяным ДТ. Важно отметить, что даже для смесей с высоким содержанием биокон компонента (50% RmO) при +60 °C плотность (839 кг/м³) соответствует нормам для зимних сортов дизельного топлива. Это указывает на то, что с точки данного

параметра смеси, даже высоко содержащие биокон компонент (RmO), не вызовут существенных проблем с энергоэффективностью или работой топливонасоса при условии их подогрева.

Заключение

Проведенное исследование количественно подтвердило возможность использования рыжикового масла в качестве биокон компонента дизельного смесевое топлива. Установлены конкретные границы применимости дизельных смесевых топлив на основе рыжикового масла в зависимости от температуры и процентного содержания биокон компонента. Регулярный мониторинг вязкостно-температурных свойств и плотности дизельного смесевое топлива позволяет гарантировать его соответствие техническим требованиям, что напрямую влияет на надежность, экономичность и экологичность работы дизельных двигателей.

Полученные результаты имеют существенную практическую ценность для производителей и потребителей топлива, сельскохозяйственных предприятий, рассматривающих возможность использования возобновляемых топливных ресурсов, а также для конструкторов и инженеров, занимающихся адаптацией дизельной техники для работы на альтернативных видах топлива.

Литература

1. Мировые тенденции в области использования биодизельного топлива / С. А. Нагорнов, А. Н. Зазуля, И. Г. Голубев и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 10(316). С. 2-5. doi: 10.33267/2072-9642-2023-10-2-5
2. Marchuk A., Likhanov V. A., Lopatin O. P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 3. P. 80-86. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-080-086
3. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Определение оптимального состава биотоплива для использования в дизельных ДВС // Транспорт на альтернативном топливе. 2019. № 1(67). С. 62-68.
4. Уханов А.П., Хохлов А.А. Биотопливо из рыжика: монография. Пенза: Пензенский ГАУ. 2020. 192 с.
5. Техническое обеспечение дизеля для работы на дизельном смесевом топливе / А. Л. Хохлов, Д. Е. Молочников, А. А. Хохлов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 3(54). С. 122-127. doi: 10.12737/article_5db96fe742de44.29083985
6. Уханов Д. А., Уханов А. П., Хохлов А. А. Методология определения параметров электродозаторов смесителя компонентов бионефтяного топлива // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1(61). С. 203-209. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-203-209
7. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив / А. В.

Чернышева, А. Д. Черепанова, Б. И. Колобков и др. // Наука в центральной России. 2022. № 5(59). С. 120-133.

8. Изменение физико-химических характеристик биодизельного топлива и его композиций при хранении / С. В. Романцова, И. В. Гладышева, Н. В. Вервекина и др. // Наука в центральной России. 2022. № 3(57). С. 129-137. doi: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

9. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив / А. В. Чернышева, А. Д. Черепанова, Б. И. Колобков и др. // Наука в центральной России. 2022. № 5(59). С. 120-133. doi: 10.35887/2305-2538-2022-5-120-133

10. Исследование топливopодaчи дизеля, работающего на биотопливе / С. А. Нагорнов, В. А. Марков, Ю. В. Мещерякова и др. // Автомобильная промышленность. 2023. № 4. С. 7-11.

11. Исследование влияния биодизельного топлива на работу топливной аппаратуры / В. А. Марков, А. Г. Мещеряков, Ю. В. Мещерякова и др. // Грузовик. 2022. № 2. С. 17-25. doi: 10.36652/1684-1298-2022-2-17-25

12. Результаты стендовых испытаний смесевых топлив на основе возобновляемого сырья / А. Ю. Корнев, С. А. Нагорнов, А. П. Ликсутина и др. // Наука в центральной России. 2025. № 1(73). С. 123-133. doi: 10.35887/2305-2538-2025-1-123-133

13. Влияние состава биодизельного топлива на величину его плотности и вязкости / И. В. Гладышева, Н. В. Вервекина, Е. А. Поторыкина и др. // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28-29 сентября 2021 года. Тамбов: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве". 2021. С. 202-205.

14. Эффективность работы дизельных двигателей тракторов на топливе с биодобавками растительного происхождения: аналитический обзор / И. Г. Голубев, С. А. Нагорнов, А. Н. Зазуля и др.. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса. 2021. 72 с. ISBN 978-5-7367-1627-2.

15. Лиханов В. А., Козлов А. Н., Арасланов М. И. Работа дизеля на этаноле и рапсовом масле: монография. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. 172 с. ISBN 978-5-6040852-5-7.

16. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Применение рапсового масла и этанола в дизельном двигателе //

Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 373-389. doi:10.15507/2658-4123.032.202203.373-389

17. Особенности использования смесевых биотоплив с добавками метилового эфира подсолнечного масла в автотракторном дизеле / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. А. Нагорнов и др. // Автомобильная промышленность. 2022. № 4. С. 28-33.

18. Уханов Д. А., Черепанова А. Д., Уханов А. П. Исследование автомобильного дизеля при работе на биокеросине // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1(65). С. 192-202. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-192-202

19. Уханов А. П., Уханов Д. А., Володько О. С. Показатели тракторного безнаддувного дизеля при работе на минерально-льняном топливе // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1(61). С. 210-216. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-210-216

20. Результаты исследований тракторного дизеля при работе на сурепно-нефтяном топливе / А. П. Уханов, М. В. Рыблов, Д. А. Уханов и др. // Нива Поволжья. 2023. № 2(66). doi: 10.36461/NP.2023.66.2.008

References

1. Global trends in the use of biodiesel fuel / S. A. Nagornov, A. N. Zazulya, I. G. Golubev, et al. // Machinery and equipment for the village. 2023. No. 10(316). P. 2-5. doi: 10.33267/2072-9642-2023-10-2-5

2. Marchuk A., Likhanov V. A., Lopatin O. P. Alternative energy: methanol, ethanol and alcohol esters of rapeseed oil as eco-friendly biofuel // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 3. P. 80-86. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-080-086

3. Likhanov V. A., Lopatin O. P. Specification of the appropriate composition of biofuel for use in diesel internal combustion engines // Transport on alternative fuel. 2019. No. 1(67). P. 62-68.

4. Ukhonov A.P., Khokhlov A.A. Biofuel from camelina: monograph. Penza: Penza State Agrarian University. 2020. 192 p.

5. Technical support of a diesel engine for operation on diesel mixed fuel / A. L. Khokhlov, D. E. Molochnikov, A. A. Khokhlov, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2019. Vol. 14, No. 3 (54). P. 122-127. doi: 10.12737/article_5db96fe742de44.29083985

6. Ukhonov D. A., Ukhonov A. P., Khokhlov A. A. Methodology for determining the parameters of electric dispensers for a mixer of bio-oil fuel components // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 1(61). P. 203-209. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-203-209

7. Physicochemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels / A. V. Chernysheva, A. D. Cherepanova, B. I. Kolobkov, et al. // Science in central Russia. 2022. No. 5(59). P. 120-133.

8. Changes in the physicochemical characteristics of biodiesel fuel and its compositions during storage / S. V.

Romantsova, I. V. Gladysheva, N. V. Vervekina, et al. // Science in central Russia. 2022. No. 3(57). P. 129-137. doi: 10.35887/2305-2538-2022-3-129-137

9. Physicochemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels / A. V. Chernysheva, A. D. Cherepanova, B. I. Kolobkov, et al. // Science in Central Russia. 2022. No. 5(59). P. 120-133. doi: 10.35887/2305-2538-2022-5-120-133

10. Study of fuel supply of a diesel engine running on biofuel / S. A. Nagornov, V. A. Markov, Yu. V. Meshcheryakova, et al. // Automotive industry. 2023. No. 4. P. 7-11.

11. Study of the influence of biodiesel fuel on the operation of fuel equipment / V. A. Markov, A. G. Meshcheryakov, Yu. V. Meshcheryakova, et al. // Truck. 2022. No. 2. P. 17-25. doi: 10.36652/1684-1298-2022-2-17-25

12. Results of bench tests of mixed fuels based on renewable raw materials / A. Yu. Kornev, S. A. Nagornov, A. P. Liksutina, et al. // Science in central Russia. 2025. No. 1(73). P. 123-133. doi: 10.35887/2305-2538-2025-1-123-133

13. The influence of the composition of biodiesel fuel on its density and viscosity / I. V. Gladysheva, N. V. Vervekina, E. A. Potorykina et al. // Increasing the efficiency of resource use in the production of agricultural products ii - new technologies and new generation equipment for crop production and livestock farming: Collection of scientific reports of the XXI International Scientific and Practical Conference, Tambov, September 28–29, 2021. Tambov: Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture". 2021. P. 202–205.

14. Efficiency of diesel tractor engines running on fuel with plant-based bioadditives: an analytical review / I. G. Golubev, S. A. Nagornov, A. N. Zazulya, et al. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex. 2021. 72 p. ISBN 978-5-7367-1627-2.

15. Likhanov V. A., Kozlov A. N., Araslanov M. I. Diesel engine operation on ethanol and rapeseed oil: monograph. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy. 2018. 172 p. ISBN 978-5-6040852-5-7.

16. Likhanov V. A., Lopatin O. P. Use of rapeseed oil and ethanol in a diesel engine // Engineering technologies and systems. 2022. Vol. 32, No. 3. P. 373-389. doi:10.15507/2658-4123.032.202203.373-389

17. Features of the use of mixed biofuels with additives of sunflower oil methyl ester in automotive diesel engines / V. A. Markov, S. N. Devyanin, S. A. Nagornov, et al. // Automotive industry. 2022. No. 4. P. 28-33.

18. Ukhanov D. A., Cherepanova A. D., Ukhanov A. P. Study of automotive diesel engines running on biokerosene // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 1(65). P. 192-202. doi: 10.18286/1816-4501-2024-1-192-202

19. Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Volodko O. S. Performance of a naturally aspirated tractor diesel engine running on mineral-flaxseed fuel // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 1 (61). P. 210-216. doi: 10.18286/1816-4501-2023-1-210-216

20. Results of the studies of a tractor diesel engine running on rapeseed-petroleum fuel / A. P. Ukhanov, M. V. Ryblov, D. A. Ukhanov, et al. // Niva Povolzhya. 2023. No. 2 (66). doi: 10.36461/NP.2023.66.2.008