

## Биокеросин – экологически чистое моторное топливо для дизелей наземной транспортной техники

А. П. Уханов<sup>1</sup>✉, доктор технических наук, профессор

А. Д. Уханов<sup>2</sup>, студент

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30 ✉dispgau@mail.ru

<sup>2</sup>НИЯУ МИФИ

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

**Резюме.** Работа выполнена с целью улучшения экологических свойств биокеросина путем уменьшения содержания кислорода в его биологическом компоненте – рапсовом масле, а также увеличения эффективного КПД дизеля за счет получения в процессе сгорания химического соединения – оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). Известен биокеросин в виде топливной композиции, состоящей из авиационного керосина ТС-1, рапсового масла и цетаноповышающей присадки этилгексилнитрат. Однако, сгорание биокеросина с таким компонентным составом в дизеле приводит к образованию оксидов азота, содержание которых в отработавших газах превышает нормативы шестого Евростандарта. Кроме того, в процессе длительной работы дизеля на таком биокеросине, из-за наличия в нем растительного масла на огневой поверхности камеры сгорания (на внутренней поверхности камеры сгорания в головке цилиндров, днище и головке поршня), а также на наружной поверхности носика распылителей форсунок образуются высокотемпературные нагарные отложения. Для устранения вышеуказанных недостатков в биокеросин, содержащий в качестве основы авиационный керосин ТС-1 в массовом количестве от 49,66 % до 89,66 %, а в качестве добавки рапсовое масло в массовом количестве от 10 % до 50 % и цетаноповышающую присадку этилгексилнитрат в количестве 0,3 % по массе, дополнительно добавляется нанодисперсный алюминиевый порошок с размерами частиц не более 1,25 мкм в количестве по массе 0,001% на 1% рапсового масла или 1 г алюминиевого порошка на 1 кг рапсового масла.

**Ключевые слова:** дизель, экологическая безопасность, биокеросин, авиационный керосин, рапсовое масло, цетаноповышающая присадка, алюминиевый порошок.

**Для цитирования:** Уханов А. П., Уханов А. Д. Биокеросин – экологически чистое моторное топливо для дизелей наземной транспортной техники // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2 (74). С. 205-210. doi:10.18286/1816-4501-2026-2-205-210

## Biokerosene – an environmentally friendly fuel for diesel engines of ground vehicles

A. P. Ukhanov<sup>1</sup>, A. D. Ukhanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FSBEI HE Penza State Agrarian University,

440014, Penza, Botanicheskaya St., 30, dispgau@mail.ru

<sup>2</sup> National Research Nuclear University MEPhI,

115409, Moscow, Kashirskoe Dr.

**Abstract.** This work was conducted to improve the environmental properties of biokerosene by reducing the oxygen content in its biological component – rapeseed oil – and increasing the efficiency of diesel engines by producing a chemical compound, aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ), during combustion. Biokerosene is known as a fuel composition consisting of TS-1 aviation kerosene, rapeseed oil, and the cetane-boosting additive ethylhexyl nitrate. However, combustion of biokerosene with this component leads to formation of nitrogen oxides, its content in the exhaust gases exceeds the standards of the sixth European standard. In addition, in case of prolonged operation of a diesel engine on such biokerosene, due to the presence of vegetable oil, high-temperature carbon deposits form on the fire surface of the combustion chamber (on the inner surface of the combustion chamber in the cylinder head, bottom and piston crown), as well as on the outer surface of the nozzles. To eliminate the above-mentioned deficiencies, biokerosene containing TS-1 aviation kerosene as a base in a mass quantity of 49.66% to 89.66%, rapeseed oil as an additive in a mass quantity of 10% to 50%, and the cetane-enhancing additive ethylhexyl nitrate at a mass of 0.3%, nanodispersed aluminum powder with a particle size of no more than 1.25  $\mu m$  is added in an amount of 0.001% by weight per 1% of rapeseed oil, or 1 g of aluminum powder per 1 kg of rapeseed oil.

**Keywords:** diesel, environmental safety, biokerosene, aviation kerosene, rapeseed oil, cetane-enhancing additive, aluminum powder.

**For citation:** Ukhanov A. P., Ukhanov A. D. Biokerosene – an environmentally friendly fuel for diesel engines of ground vehicles // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.2 (74): 205-210 doi:10.18286/1816-4501-2026-2-205-210

### Введение

Считается, что заменителем товарного нефтяного дизельного топлива (ДТ) для наземной транспортной техники в исключительных случаях

(например, при отсутствии ДТ, при выполнении каких-либо срочных работ, при температурах атмосферного воздуха ниже минус 35...40°C и др.) является авиационный керосин. Такой вид нефтяного

топлива, даже по сравнению с арктическим ДТ, имеет пониженную температуру замерзания (минус 47°C), облегченный фракционный состав, хорошую испаряемость. Однако авиационный керосин при его использовании в поршневых дизельных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) наземной транспортной техники не только плохо воспламеняется (цетановое число керосина составляет 38..43 ед., тогда как у нефтяного ДТ – 45...54 ед.), но и при продолжительной работе ДВС приводит к интенсивному износу деталей по причине плохой смазывающей способности (скорректированный диаметр пятна износа у керосина находится в пределах 700...850 мкм, тогда как нормативное значение этого показателя у ДТ должно быть не более 460 мкм) [1-3].

В некоторых случаях для улучшения пуска транспортных дизелей при низких температурах окружающего воздуха и при отсутствии зимних сортов товарного нефтяного ДТ в летнее нефтяное ДТ допускается добавлять до 40 % керосина [4]. Но и в таких случаях длительная работа дизеля на вышеуказанном смесином дизельно-керосиновом топливе не рекомендуется, так как его нефтяной компонент – керосин обладает плохой смазывающей способностью и ухудшенной воспламеняемостью [5].

С целью улучшения экологических свойств и экономии нефтяного топлива, каковым является авиационный керосин, авиакомпания Люфтганза для полетов своих самолетов с турбореактивными двигателями использовала топливную композицию – биокеросин, содержащий авиационный керосин марки Jet и рыжиковое масло в равном процентном соотношении 50:50 [6]. Недостатком биокеросина такого состава в качестве моторного топлива для транспортных дизелей является пониженная воспламеняемость, не нормативное содержание оксидов азота в отработавших газах и образование нагарных отложений на огневой поверхности камеры сгорания дизеля.

В настоящее время для улучшения воспламеняемости биокеросина, предназначенного для дизелей наземной транспортной техники, в него рекомендуется добавлять цетаноповышающую присадку. Биокеросин такого состава содержит в качестве основы авиационный керосин ТС-1 в массовом количестве от 49,66 % до 89,66 %, а в качестве добавки – рапсовое масло от 10 % до 50 % (мас.) и цетаноповышающую присадку этилгексилнитрат в количестве 0,3 % (мас.) [7].

Однако, практически любое растительное (рапсовое, рыжиковое, редечное, сафлоровое, соевое, сурепное, горчичное и др.) масло является кислородосодержащей жидкостью, в которой превышение кислорода по отношению к нефтяному топливу составляет 9...12 % [8-16]. Поэтому добавление рапсового масла [17] к авиационному керосину увеличивает содержание кислорода в полученном смесином топливе – биокеросине. Сгорание биокеросина с таким компонентным составом в дизеле приводит к образованию оксидов азота, содержание которых в отработавших газах хотя и превышает нормативы

Евростандарта по токсичности, но зато снижает их количество по сравнению с работой дизеля на нефтяном ДТ. Побочным недостатком такого биокеросина является образование в процессе его сгорания в дизеле нагарных отложений на огневой поверхности камеры сгорания (на внутренней поверхности камеры сгорания в головке цилиндров, днище и головке поршня), а также на наружной поверхности носика распылителей форсунок.

Цель исследования – улучшение экологических свойств биокеросина по патенту № 2802026 РФ путем уменьшения содержания кислорода в его биологическом компоненте – рапсовом масле, а также создание условий для увеличения коэффициента полезного действия (КПД) дизеля за счет получения в процессе сгорания химического соединения избыточного кислорода, содержащегося в масле, с химическим элементом, широко распространенным в природе и промышленности.

Таким химическим элементом является алюминий (Al), производимый в больших объемах из природного сырья – глинозема. Из курса по химии известно, что алюминий при высоких температурах активно вступает в химическую реакцию с кислородом (O<sub>2</sub>) с образованием оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Поэтому, если в биокеросин добавить алюминиевый порошок, то при сгорании такого биокеросина в дизеле алюминий будет отбирать (нейтрализовать) излишки кислорода рапсового масла, что способствует «чистому» сгоранию биокеросина в транспортном дизеле с минимальным образованием оксидов азота (NO<sub>x</sub>), как наиболее токсичного и вредного химического соединения.

Для этого в биокеросин с компонентным составом по патенту № 2802026 РФ добавляется алюминиевый порошок с размерами частиц не более 1,25 мкм в массовом количестве 0,001 % на 1 % рапсового масла или 1 г алюминиевого порошка на 1 кг рапсового масла [18]. Размер частиц алюминиевого порошка (не более 1,25 мкм) выбран из расчета свободного прохождения частиц через кольцевые зазоры прецизионных пар (плунжер-штука топливного насоса высокого давления, игла распылителя-корпус распылителя форсунки и др.) узлов и агрегатов дизельной топливной аппаратуры и поры фильтрующих элементов топливных фильтров тонкой очистки системы топливоподачи дизеля, а также для лучшего смешивания порошка с рапсовым маслом и авиационным керосином. Добавка в биокеросин нанодисперсного алюминиевого порошка в массовом количестве 1 г на 1 кг рапсового масла или 0,001 % алюминиевого порошка на 1 % рапсового масла объясняется его достаточностью для нейтрализации избыточного кислорода, содержащегося в рапсовом масле.

#### Материалы и методы

За объект исследований приняты:

1) компоненты биокеросина – авиационный керосин ТС-1 и цетаноповышающая присадка этилгексилнитрат (ЭГН) на наличие в них металлов;

2) биокеросин, содержащий в качестве основы авиационный керосин ТС-1 в массовом количестве от 49,66 % до 89,66 %, а в качестве добавки рапсовое масло в массовом количестве от 10 % до 50 %, цетаноповышающую присадку этилгексилнитрат в количестве 0,3 % по массе и алюминиевый порошок с размерами частиц не более 1,25 мкм в количестве 0,001 % на 1 % рапсового масла или 1 г алюминиевого порошка на 1 кг рапсового масла;

3) контрольное (стандартное) моторное топливо – товарное летнее дизельное топливо ДТ-Л-К5 по ГОСТ 32511–2013.

Для «чистоты» эксперимента перед началом моторных испытаний были выполнены лабораторные исследования на наличие металлов, в том числе и алюминия, в нефтяных компонентах биокеросина: авиационном керосине ТС-1 и цетаноповышающей присадке ЭГН.

Измерение массовой доли металлов в исследуемых образцах компонентов биокеросина проводили на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре БРА-135F (рис. 1) (Спектрометр рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный БРА-135F. Руководство по эксплуатации. НПП «Буревестник». 2014. 70 с.).

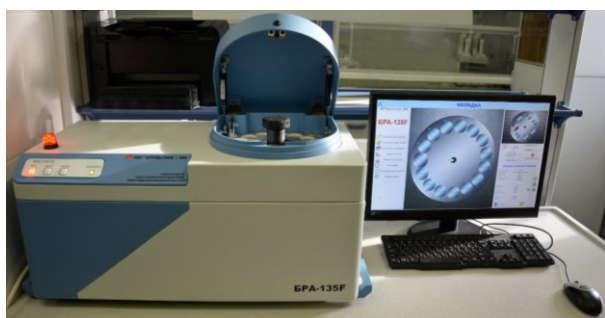


Рис. 1. Спектрометр БРА-135F

Результаты спектров исследуемых образцов компонентов биокеросина, характеризующих зависимость скорости счета импульсов (имп/с) от энергии (килоэлектрон-вольт), показаны на рисунках 2 и 3.

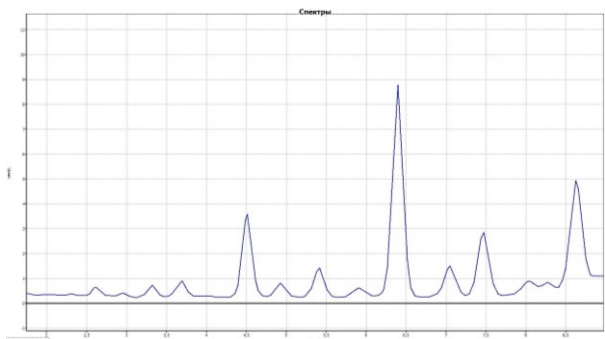


Рис. 2. Спектр скорости счета импульсов авиационного керосина ТС-1

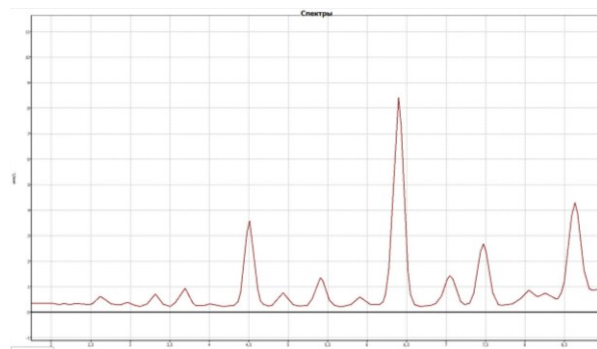


Рис. 3. Спектр скорости счета импульсов цетаноповышающей присадки ЭГН

Полученные спектры были обработаны с помощью программного комплекса «КЭДА-Е». Результаты обработки сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Массовая доля металлов в образцах компонентов биокеросина

Компоненты биокеросина	Содержание металлов, ppm			
	Cr	Mn	Fe	Zn
Авиационный керосин ТС-1	4,0	3,5	4,2	5,1
Цетаноповышающая присадка ЭГН	0	0	0	0

Примечание: 1ppm (1/млн, млн<sup>-1</sup>) = 1мг/кг = 1г/т = 10<sup>-4</sup>%.

Из анализа данных таблицы 1 следует, что авиационный керосин ТС-1 и присадка ЭГН, являющиеся нефтяными компонентами биокеросина, алюминий не содержат.

Для сравнительной оценки влияния биокеросина и нефтяного ДТ на экологические и эффективные показатели дизеля были проведены стендовые испытания на моторной установке (рис. 4), содержащей атмосферный трехцилиндровый дизель MMZ-3LD (ЗЧ 87/90), динамометрическую машину, расходомеры топлива и воздуха, измерители частоты вращения коленчатого вала, нагрузки, температуры окружающего воздуха, топлива, моторного масла и охлаждающей жидкости.

За оценочные показатели дизеля при его работе на биокеросине и нефтяном ДТ приняты:

экологические показатели – объемное содержание в отработавших газах оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и процентное содержание оксида углерода (CO);

комплексный показатель – эффективный КПД дизеля.

Измерение содержания оксидов азота и оксида углерода в отработавшихся газах осуществлялось газоанализатором «Инфракар 5М-3.01» (Газоанализаторы «ИНФРАКАР». Руководство по эксплуатации. Москва. 2021. 30 с.)



Рис. 4. Моторная установка: 1 – дизель; 2 – динамометрическая машина; 3 – расходомер топлива

**Результаты**

По результатам сравнительных моторных исследований биокеросина с различным компонентным составом (авиационный керосин ТС-1+рапсовое масло РМ+цетаноповышающая присадка ЭГН) экспериментально установлено, что по показателям процесса сгорания заменителем нефтяного летнего дизельного топлива для транспортных дизелей является биокеросин состава 69,7%ТС-1+30%РМ+0,3%ЭГН [5, 7]. Однако, из-за наличия в нем кислородосодержащего компонента – рапсового масла, такой биокеросин не отвечает экологическим нормам ЕВРО-6 и нагарным требованиям, предъявляемым к моторному топливу для транспортных дизелей. Однако следует отметить, что этот биокеросин существенно превосходит стандартное нефтяное ДТ по экологическим показателям.

В этой связи для экспериментального подтверждения преимуществ альтернативного биокеросина БК-30<sup>1</sup> состава 69,66%ТС-1+30%РМ+0,3%ЭГН+0,04%АI<sup>2</sup> по отношению к нефтяному ДТ проведены моторные исследования дизеля по показателям экологии и сгорания.

Результаты экспериментальных моторных исследований дизеля при его работе на биокеросине БК-30 в режиме полной нагрузки и номинальной частоте вращения коленчатого вала представлены на рисунке 5 и в таблице 2.

Таблица 2. Показатели экологических свойств исследуемых моторных топлив и эффективный КПД дизеля

Исследуемое моторное топливо	Оценочные показатели		
	экологические	эффективный КПД дизеля	
NO <sub>x</sub> , млн <sup>-1</sup>	CO, %		
Нефтяное летнее дизельное топливо ДТ-Л-К5	780	1,259	0,226
Биокеросин БК-30 состава 69,66%ТС-1+30%РМ+0,3%ЭГН+0,04%АI	675	0,944	0,238

<sup>1</sup> БК-30 – биокеросин, содержащий 30 % рапсового масла

Анализ кривых на рисунке 5 показывает, что характерной особенностью дизеля MMZ-3LD (ЗЧ 87/90) является смещение максимального эффективного КПД в область оборотов около 1800 мин<sup>-1</sup>, соответствующих режиму перегрузок – режиму максимального крутящего момента. При работе дизеля на биокеросине БК-30 эффективный КПД превышает аналогичный показатель при работе дизеля на нефтяном ДТ во всем диапазоне оборотов от 1400 до 3000 мин<sup>-1</sup>.

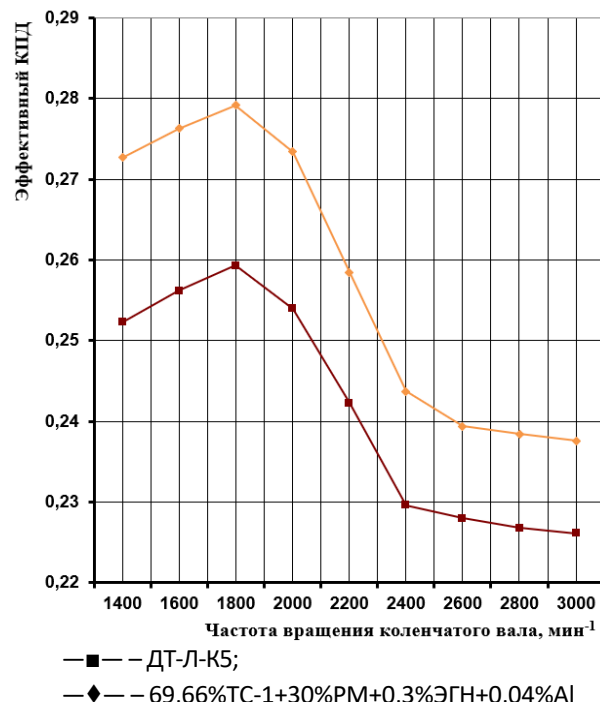


Рис. 5. Изменение эффективного коэффициента полезного действия в условиях внешней скоростной характеристики дизеля MMZ-3LD на исследуемых топливах

Из данных таблицы 2 следует, что при работе дизеля на биокеросине БК-30 улучшаются экологические показатели NO<sub>x</sub>, CO с одновременным повышением эффективного КПД по сравнению с его работой на товарном нефтяном летнем дизельном топливе ДТ-Л-К5.

**Обсуждение**

При сгорании в дизеле биокеросина компонентного состава, запатентованного авторами, алюминий вступает в химическую реакцию с избыточным кислородом, содержащимся в рапсовом масле, и нейтрализует излишки кислорода в камере сгорания, что способствует «чистому» сгоранию биокеросина в транспортном дизеле с минимальным образованием оксидов азота (NO<sub>x</sub>) как наиболее токсичного и вредного химического соединения отработавших газов. Кроме того, образовавшийся в результате химической реакции оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) образует на

<sup>2</sup> В биокеросине состава 69,66%ТС-1+30%РМ+0,3%ЭГН+0,04%АI количество 0,04% АI соответствует количеству 0,001% на 1% рапсового масла или 1 г алюминиевого порошка на 1 кг рапсового масла

огневой поверхности камеры сгорания дизеля оксидную микропленку, которая не только препятствует накоплению нагарных отложений на огневой поверхности камеры сгорания, но и улучшает герметизацию камеры сгорания дизеля и снижает отвод теплоты через стенки камеры сгорания, выделившейся в процессе сгорания биокеросина, что повышает термодинамический коэффициент полезного действия поршневого дизельного двигателя внутреннего сгорания.

#### Заключение

Анализ результатов выполненных экспериментальных исследований показывает, что по экологическим показателям (содержанию оксидов азота и оксида углерода в отработавшихся газах) и эффективному показателю дизеля (эффективный КПД) биокеросин БК-30 компонентного состава 59,66%ТС-1+40%PM+0,3%ЭГН+0,04%AI потенциально может быть отнесен к альтернативному моторному топливу для дизелей наземной транспортной техники и являться эффективным заменителем товарного нефтяного ДТ.

Биокеросин БК-30 с вышеуказанным компонентным составом является промышленно применимым с учетом наличия в природе и промышленности компонентов для его производства в больших объемах.

#### Литература

1. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Введ. 2015–01–01. М.: Стандартинформ. 2015. 15 с.
2. ГОСТ 10227-86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. Введ. 1987–01–01. М.: Стандартинформ. 2005. 7 с.
3. ГОСТ 52050-2020. Топливо авиационное для газотурбинных двигателей ДЖЕТ А-1 (Jet A-1). Технические условия. Введ. 2021–07–01. М.: Стандартинформ. 2021. 15 с.
4. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации: монография / Карташевич А. Н., Кухаренок Г. М., Гордеенко А. В. и др.: Изд-во «Красико-Принт». 2005. 180 с.
5. Уханов Д. А., Уханов А. П. Альтернативное моторное топливо для автотракторных дизелей // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы XXXVIII Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет. 2025. Вып. 38. С. 38-43.
6. Авиакомпания Люфтганза совершила первый полет на биотопливе // Интернет-ресурс [ru.roezdka.de>174/2011-1299/Luftgansa-bio-](http://ru.roezdka.de>174/2011-1299/Luftgansa-bio-) (дата обращения 14.05.2024 г.).
7. Уханов А. Д., Уханов А. П. Результаты трибологических испытаний рапсового биокеросина на смазывающую способность // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей VI Международной НПК. Пенза: ПГАУ. 2025. С. 139-143.

8. Уханова Ю. В., Воскресенский А. А., Уханов А. П. Сравнительная оценка свойств растительных масел, используемых в качестве биодобавки к нефтяному дизельному топливу // Нива Поволжья. 2017. № 2 (43). С.98-105.

9. Снижение износа плунжерных пар ТНВД при применении смесового рапсово-минерального топлива / Уханов Д. А., Уханов А. П., Ротанов Е. Г. и др.: монография. Пенза: РИО ПГАУ. 2017. 212 с.

10. Показатели физико-химических, теплотворных и трибологических свойств масла крамбе и дизельного смесового топлива / Уханов А. П., Володько О. С., Быченин А. П. и др. // Нива Поволжья. 2018. №2 (47). С. 141-148.

11. Перспективы производства моторных топлив из биомассы / Сафина Д. Н., Хуснутдинов И. Ш., Сафиулина А.Г. и др. // Вестник технологического университета. 2021. Т.24. № 9. С. 19-41.

12. Кривошеин А. Н. Производство биотоплива в Европейском Союзе: политика, сертификация, критерии устойчивости. М. 2016. 39 с.

13. Азаров В.К., Зозулин Е.М., Кутенёв В.Ф. Экологический ущерб от двигателей автомобилей в зависимости от вида потребляемого топлива // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. № 6(90). С. 48-55.

14. Денежко Л. В., Новопашин Л. А., Асанбеков К. А. Исследование рапсовых смесей различного состава в тракторном дизеле // Аграрный вестник Урала. 2015. №1 (131). С. 53-54.

15. Dabi M.P., Saha U. K. Application potential of vegetable oils as alternative to diesel fuels in compression ignition engines: A review // Journal of the Energy Institute 92(6) (2019) 1710-1726.

16. Experimental investigations of combustion and emission characteristics of rapeseed oil-diesel blends in a two cylinder agricultural diesel engine / D.H. Qi, C.F. Lee, C.C. Jia, et al. // Energy Convers. Manag. 77 (2014) 227-232.

17. ГОСТ 31759–2012. Масло рапсовое. Технические условия. Введ. 2013–07–01. –М.: Стандартинформ. 2014. 12 с.

18. Патент № 2838719 РФ. МПК G10L 1/88, G10L 1/02, G10L 1/08, G10L 1/12. Биокеросин для транспортных дизелей / А.П. Уханов, А.Д. Уханов. Заявка № 2024125524 от 30.08.2024. Оpubл. 22.04.2025. Бюл. № 12.

#### References

1. State Standard GOST 32511-2013. EURO Diesel Fuel. Specifications. Introduced on 2015–01–01. Moscow: Standartinform. 2015. 15 p.
2. State Standard GOST 10227-86. Jet Engine Fuels. Specifications. Introduced on 1987–01–01. Moscow: Standartinform. 2005. 7 p.
3. State Standard GOST 52050-2020. Jet A-1 Aviation fuel for gas turbine engines. Specifications. Introduced on 2021–07–01. Moscow: Standartinform. 2021. 15 p.
4. Improvement of the starting performance of automotive and tractor diesel engines during winter

operation: monograph / Kartashevich A. N., Kukharensk G. M., Gordeenko A. V., et al.: Publishing House Krasiko-Print. 2005. 180 p.

5. Ukhanov D. A., Ukhanov A. P. Alternative engine fuel for automotive and tractor diesel engines // Problems of efficiency and operation of automotive and tractor equipment: Proceedings of the XXXVIII international scientific and technical conference named after V.V. Mikhailov. Saratov: FSBEI HE Vavilov University. 2025. Issue 38. P. 38-43.

6. Lufthansa Airlines made its first flight on biofuel // Internet resource [ru.poezdka.de](http://ru.poezdka.de)>174/2011-1299/Luftgansa-bio- (access date: 14.05.2024).

7. Ukhanov A. D., Ukhanov A. P. Results of tribological tests of rapeseed biokerosene for lubricity // Operation of automotive and agricultural machinery: experience, problems, innovations, prospects: collection of articles of the VI International scientific and practical conference. Penza: PSAU. 2025. P. 139-143.

8. Ukhanova Yu. V., Voskresensky A. A., Ukhanov A. P. Comparative assessment of the properties of vegetable oils used as bioadditives to petroleum diesel fuel // Niva Povolzhya. 2017. No. 2 (43). P.98-105.

9. Reducing the wear of plunger pairs of fuel injection pumps using mixed rapeseed-mineral fuel / Ukhanov D. A., Ukhanov A. P., Rotanov E. G., et al.: monograph. Penza: Publishing house of PSAU. 2017. 212 p.

10. Parametres of physicochemical, calorific and tribological properties of crambe oil and diesel mixed fuel / Ukhanov A. P., Volodko O. S., Bychenin A. P., et al. // Niva Povolzhya. 2018. No. 2 (47). P. 141-148.

11. Prospects for production of engine fuels from biomass / Safina D. N., Khusnutdinov I. Sh., Safiulina A. G. et al. // Vestnik of the Technological University. 2021. Vol. 24. No. 9. P. 19-41.

12. Krivoshein A. N. Biofuel production in the European Union: policy, certification, sustainability criteria. Moscow. 2016. 39 p.

13. Azarov V. K., Zozulin E. M., Kutenev V. F. Environmental damage from car engines depending on the type of fuel consumed // Alternative fuel transport. 2022. No. 6 (90). P. 48-55.

14. Denezhko L. V., Novopashin L. A., Asanbekov K. A. Study of rapeseed mixtures of different compositions in tractor diesel // Agrarian Vestnik of the Urals. 2015. No. 1 (131). P. 53-54.

15. Dabi M.R., Saha U.K. Application potential of vegetable oils as an alternative to diesel fuels in compression ignition engines: A review // Journal of the Energy Institute 92(6) (2019) 1710–1726.

16. Experimental investigations of combustion and emission characteristics of rapeseed oil-diesel blends in a two cylinder agricultural diesel engine / D.H. Qi, C.F. Lee, C.C. Jia, et al. // Energy Convers. Manag. 77 (2014) 227-232.

17. State Standard GOST 31759–2012. Rapeseed oil. Specifications. Introduction. 2013–07–01. M.: Standartinform. 2014. 12 p.

18. Patent No. 2838719 of the Russian Federation. IPC G10L 1/88, G10L 1/02, G10L 1/08, G10L 1/12. Biokerosene for transport diesel engines / A.P. Ukhanov, A.D. Ukhanov. Application No. 2024125524 dated 30.08.2024. Published 22.04.2025. Bull. No. 12.