Тип статьи: научная
УДК 656.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-5-104-111

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ДВС

Анна Владимировна Чернышева [1]***, Борис Иванович Колобков*** [2]***,***
Василий Александрович Середа [3]***, Алексей Юрьевич Корнев*** [4]***, Анна Павловна Ликсутина*** [5]
[1,2,3]*25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва, Россия*
[4,5]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0002-8962-6469
[3]25gosnii_tehreg@mil.ru
[4]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2765-2506
[5]Liksutina68@gmal.com, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Автор ответственный за переписку: Анна Владимировна Чернышева, 25gosnii_tehreg@mil.ru
Corresponding author: Anna Chernysheva, 25gosnii_tehreg@mil.ru

Реферат. *Определяли области применения фракций синтетической нефти и метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Проведены исследования двух видов альтернативных топлив: 1 – различных фракций синтетической нефти, полученной по методу Фишера-Тропша; 2 – смесевых топлив (В7) на основе гидроочищенной нефтяной дизельной фракции с добавкой 7 % МЭРМ рапсового масла. На основании результатов испытаний различных фракций синтетической нефти показана перспективность их применения в качестве добавки к нефтяным топливам. Поскольку основными недостатками биодизельных и смесевых топлив являются плохая окислительная стабильность и склонность к образованию отложений, были проведены исследования эффективности антиокислительной присадки Агидол-1 в смесевом топливе с добавлением 7 % МЭЖК рапсового масла в условиях испытаний на бемоторной установке ОСВ-М. Установлено положительное влияние антиокислительной присадки Агидол-1 на снижение высокотемпературных отложений на донышках форсунок, при работе на смесевых топливах, содержащих до 7 % МЭЖК. Количественная оценка отложений на донышке распылительной форсунки выполнена с применением ИК-Фурье спектрометра ФТ-801 с инфракрасным широкодиапазонным микроскопом. На основании результатов, полученных на ОСВ-М с применением ИК-Фурье спектрометрии, показана перспективность применения антиокислительной присадки Агидол-1 для снижения отложений на форсунках двигателей, работающих на смесевых топливах.*

Ключевые слова: *Агидол-1, биодизельное топливо, биотопливо, ИК-спектрометрия, МЭЖК, рапсовое масло, отложения, окислительная стабильность, смесевое топливо, синтетические углеводородные топлива, синтетические компоненты моторных топлив.*

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING ALTERNATIVE RAW MATERIAL SOURCES AS ENERGY CARRIERS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Anna Chernysheva [1]***, Boris Kolobkov*** [2]***, Vasily Sereda*** [3]***, Alexey Kornev*** [4]***, Anna Liksutina*** [5]
[1,2,3]*25-th State Research Institute of Chemmotology, Ministry of Defence of Russian Federation, Moscow, Russia*
[4,5]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture,*

Tambov, Russia
[1]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0003-4637-8802
[2]25gosnii_tehreg@mil.ru, https://orcid.org/0000-0002-8962-6469
[3]25gosnii_tehreg@mil.ru
[4]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2765-2506
[5]Liksutina68@gmal.com, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Abstract. *The areas of application of synthetic oil fractions and fatty acid methyl esters (FAME) were determined. Conducted: Research on two types of alternative fuels has been carried out: 1 – various fractions of synthetic oil obtained using the Fischer-Tropsch method; 2 – mixed fuels (B7) based on hydrotreated petroleum diesel fraction with the addition of 7% FAME of rapeseed oil. The prospects for their use as an additive to petroleum fuels are shown based on the results of tests of various fractions of synthetic oil. Since the main disadvantages of biodiesel and mixed fuels are poor oxidative stability and a tendency to form deposits, studies of the effectiveness of the antioxidant additive Agidol-1 in mixed fuel with the addition of 7% rapeseed oil FAME under test conditions on an OSV-M non-engine unit were carried out. The positive effect of the antioxidant additive Agidol-1 on the reduction of high-temperature deposits on the bottoms of injectors when operating on mixed fuels containing up to 7% FAMEs has been established. Quantitative assessment of deposits on the bottom of the spray nozzle was carried out using an FT-801 IR-Fourier spectrometer with a wide-range infrared microscope. Based on the results obtained at OSV-M using IR-Fourier spectrometry, the promise of using the antioxidant additive Agidol-1 to reduce deposits on the injectors of engines operating on mixed fuels was shown.*

Keywords: *Agidol-1, biodiesel fuel, biofuel, IR spectrometry, FAME, rapeseed oil, deposits, oxidative stability, mixed fuel, synthetic hydrocarbon fuels, synthetic components of motor fuels.*

Для цитирования: Чернышева А.В., Колобков Б.И., Середа В.А., Корнев А.Ю., Ликсутина А.П. Исследование возможности применения альтернативных сырьевых источников в качестве энергоносителей для ДВС // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 65, № 5. С. 104-111. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-104-111.

For citation: Chernysheva A., Kolobkov B., Sereda V., Kornev A., Liksutina A. Study of the possibility of using alternative raw material sources as energy carriers for internal combustion engines// *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 65(5): 104-111. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-5-104-111.

Введение. Мировой интерес к альтернативным видам топливам обусловлен двумя проблемами:

– энергетическая безопасность, независимость от поставок нефти и газа;

– снижение выбросов парниковых газов, в частности CO_2.

Энергетическая безопасность Российской Федерации обусловлена высокой обеспеченностью ископаемыми энергоносителями.

Однако проблема снижения показателей эмиссии парниковых газов всеми видами транспорта носит международный характер. В 2019 году было подписано постановление о принятии Россией Парижского соглашения о климате (The Paris Agreement) по стабилизации выбросов CO_2.

Поскольку физико-химические и эксплуатационные свойства ряда альтернативных топлив отличаются от нефтяных, их применение может быть связано с внесением конструкционных изменений в топливорегулирующую аппаратуру (ТРА) [1], либо с доведением показателей качества альтернативных топлив до требований нормативной документации путем введения добавок, присадок или смешения с нефтяными топливами.

В данной статье рассмотрены особенности фракций альтернативных топлив, по сравнению с дизельным топливом, применение которых не требует внесения конструкционных изменений в ТРА.

Материалы и методы.

Объекты исследований.

Образец №1 – бензиновая фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец № 2 – дизельная фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №3 – керосиновая фракция синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №4 – керосиновая фракция гидрированная синтетической нефти, произведенная по методу Фишера-Тропша;

образец №5 – гидроочищенная нефтяная дизельная фракция;

образец №6 – биодизель (В7) (93 % гидроочищенной нефтяной дизельной фракции, 7% - МЭЖК рапсового масла);

образец №7 – биодизель (В7) (92,9 % гидроочищенной нефтяной дизельной фракции, 7% - МЭЖК рапсового масла, 0,1% Агидол-1).

Фракции синтетической нефти, полученной по методу Фишера-Тропша.

С целью оценки перспективности применения фракций синтетической нефти в качестве компонентов моторных топлив, были определены их физико-химические и эксплуатационные свойства.

По сравнению с нефтяными бензинами, синтетическая бензиновая фракция имеет меньшую плотностью при 15 °С – 710,2 кг/м^3 (при норме 725–780 кг/м^3), фракционный состав отличается небольшим содержанием компонентов, выкипающих при 70 °С – 10% (при норме 15-48 %). Октановое число синтетической бензиновой фракции составляет всего 78,5. Так же были определены показатели кислотность и йодное число, которые не нормируются ГОСТ, но характеризуют состав исследуемого образца. Синтетическая бензиновая фракция имеет большую кислотность – 66,18 мг КОН/100 см^3 и йодное число – 11,8 г I_2/100 г, что свидетельствует о высокой коррозионной активности топлива и повышенной склонности к окислению из-за наличия в составе высокорреакционно-способных кислот и непредельных соединений.

Аналогичные отклонения от норм наблюдаются и в синтетической дизельной фракции. Плотность при 15°С – 775,9 кг/м^3 (при норме 800–840 кг/м^3), йодное число – 4,8 г I_2/100 г, цетановое число – 45,9 (при норме ≥ 47 для класса 3), смазывающая способность 789 мкм (при норме ≤ 460).

Это связано с тем, что продуктом синтеза Фишера-Тропша является смесь парафиновых углеводородов различной молекулярной массы с примесью олефинов:

$nCO + (2n+1)\ H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O$;

$nCO + 2nH_2 \rightarrow C_nH_{2n} + nH_2O$.

Все синтетические фракции не соответствуют требованиям нормативной документации по показателям плотность и вязкость, это связано с тем, что по методу Фишера-Тропша практически не образуются ароматические соединения. Однако эту особенность можно использовать для снижения доли ароматических соединений в нефтяных топливах, поскольку ужесточение экологических требований повлекло снижение нормативных показателей не только по содержанию серы, но и по содержанию ароматических соединений.

Ряд показателей, таких как цетановое и октановое числа, низкотемпературные свойства, смазывающая способность можно скорректировать присадками.

Еще одной особенностью процесса Фишера-Тропша является большое количество олефинов в продуктах реакции. В бензинах по требованиям ГОСТ допускается содержание олефинов до 18%. Для дизельных топлив содержание олефинов не нормируется, однако они могут повлиять на химическую и физическую стабильность, что косвенно оценивается показателем «окислительная стабильность». Для керосинов содержание олефинов имеет критическое значение и нормируется показателем «йодное число». Поэтому необходимо проводить дополнительную стадию гидрирования керосиновой фракции перед введение в топливо для реактивных двигателей.

Результаты и обсуждение.

В данной работе проведено сравнение синтетической керосиновой фракции (образец №3) с гидрированной керосиновой фракцией (образец № 4). Плотность обоих образцов ниже нормативных значений – 735 и 746 кг/м^3 (при норме ≥ 775,0 для марки РТ), кислотность

гидрированного образца в 10 раз меньше (0,84 мг КОН/100 см^3), чем не гидрированного – 9,04 мг КОН/100 см^3, йодное число так же значительно сократилось при гидрировании с 8 г I_2/100 г до 0,2 г I_2/100 г, что уже соответствует требованиям ГОСТ, все остальные показатели соответствуют требованиям нормативной документации для марки РТ.

Таким образом, единственный показатель не соответствующий требованиям ГОСТ – «плотность при 20 ºС», который можно скорректировать при компаундировании с нефтяной керосиновой фракцией с высоким содержанием ароматических соединений.

Хорошие низкотемпературные свойства образца № 4 (Температура начала кристаллизации минус 67) позволяют предполагать наличие в нём, кроме парафинов нормального строения, парафинов изо- и/или циклического строения.

К достоинствам керосиновой фракции синтетической нефти стоит отнести высокую теплотворную способность: «низшая теплота сгорания» составляет 44100 кДж/кг, что объясняется высоким соотношение водорода к углероду в парафинах, которые преобладают в синтетической нефти.

Так же стоит отметить отсутствие соединений серы, что важно для получения топлив ЕВРО.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что фракции синтетической нефти могут применяться в качестве компонентов моторных топлив. Однако в ряде случаев потребуется проводить дополнительные стадии обработки (гидрирование, изомеризация и т.п.), а для доведения конечного смесевого товарного топлива до кондиционных показателей – вводить присадки и регулировать соотношение с нефтяными компонентами.

Смесевые топлива, содержащие МЭЖК (метиловые эфиры жирных кислот).

Из литературных данных известно, что биодизельное топливо (В100) не соответствует требованиям ГОСТ 32511 по ряду показателей – плотность, кинематическая вязкость, температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, и окислительная стабильность, поэтому применение их без разбавления дизельным топливом затруднительно [2].

В качестве преимуществ биодизельных топлив можно выделить хорошую смазывающую способность (скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С составляет 178 – 250 мкм) и высокое цетановое число (52,0- 54,0) по сравнению с нефтяными топливами.

В смесевых топливах проблема несоответствия требованиям показателей плотности и вязкости корректируется подбором нефтяной дизельной фракции. Основным недостатком таких топлив является плохая окислительная стабильность и склонность к образованию высокотемпературных отложений.

Известно, что скорость окисления МЭЖК зависит от степени ненасыщенности жирных кислот, входящих в состав МЭЖК. Как правило более высокая ненасыщенность приводит к меньшей стабильности, однако имеет значение и положение двойных связей [4, 5]. Продуктами реакции окислительных процессов являются альдегиды, спирты и карбоновые кислоты.

В работах [6, 7] для увеличения стабильности предложено смешивать два вида биодизельного топлива, обладающего различными уровнями окислительной стабильности, например, МЭЖК пальмового масла с высокой окислительной стабильностью и МЭЖК ятрофы или МЭЖК сои с более низкой стабильностью.

Другой подход к повышению окислительной стабильности МЭЖК заключается в применении антиокислительных присадок [8]. При сравнении естественных (каротиноиды, токоферолы) и синтетических антиоксидантов, вторые оказываются более эффективными [9].

Применение антиокислителей для предотвращения или замедления процесса окисления является наиболее экономичным способом по сравнению с остальными известными методами. Антиоксиданты отдают электрон или водород свободным радикалам, чтобы нейтрализовать реакцию окисления.

Не существует универсального антиокислителя, продлевающего срок годности всех видов биодизельного топлива. При изобилии доступных антиоксидантов необходимо найти наиболее подходящие антиокислители или их комбинацию для оптимизации стабильности при хранении каждого биодизельного топлива.

При подборе подходящего антиокислителя для конкретного биодизельного топлива важно различать типы антиоксидантов и их свойства. Существует три основных типа антиокислителей:

фенолы, амины и тиофенолы. Большинство природных антиоксидантов содержат полифенолы, и они действуют аналогично фенольным антиокислителям. Из-за возможных выбросов серы тиофенолы не используются для улучшения стабильности биодизельного топлива.

В целом, фенольный тип антиокислителей наиболее часто используется в производстве биодизельного топлива из-за их стоимости, доступности и эффективности [10, 11]. Агидол-1 является одним из наиболее летучих антиоксидантов фенольных групп и чрезвычайно растворим в жире и нерастворим в воде. Это эффективный антиоксидант для жидких углеводородов (особенно для бензинов) и биодизельных смесей с низким содержанием биодизеля, но неэффективен для защиты чистого биодизельного топлива или биодизельных смесей с высоким содержанием биодизеля.

Результаты определения окислительной стабильности (ГОСТ Р ЕН ИСО 12205) образцов № 6 и № 7 согласуются с литературными данными об эффективности антиокислительных присадок фенольного типа. Количество осадка, образующегося в процессе испытания (нагрев при 95 ºС в течение 16 часов и барботировании кислородом), при введении 0,1 % масс антиокислительной присадки Агидол-1, снижается почти в 20 раз.

Хорошо известно, что скорость реакций окисления увеличивается при повышении температуры. Окислительная стабильность, измеряемая методом Rancimat [12], основана на принципе, линейного увеличения скорости разложения от температуры. При хранении топливо не подвергается высоким температурам, однако температура деталей двигателя (поршни, форсунки, стенки камеры сгорания) может достигать более 200 ºС, что приводит к быстрому окислению топлива и образованию отложений.

Поэтому были проведены исследования по оценке эффективности применения антиокислительной присадки фенольного типа для снижения отложений на донышке форсунки.

За рубежом разработан ряд моторных методов на полноразмерных двигателях для оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений на распылителях форсунок CEC F-98-08, CEC F-23-01, CEC F-110-16 [13]. Применение этих методов требует значительных капитальных затрат, а также большого количества исследуемого образца.

В Россий был разработан метод на базе двигателя Д21А для оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений. К недостаткам метода можно отнести низкую точностью измерения и высокие материальные и временные затраты на одно испытание. В настоящее время этот метод не применяется ни в одной из российских организаций.

В работе [14] предложен метод оценки склонности дизельного топлива к образованию отложений на форсунках двигателя.

Метод включает:

– измерение объема прокачиваемого топлива через форсунку за 40 сек;

– запуск суточного цикл, включающего в себя нагрев до 200 °С в течение 18 часов. В это время производится 216 циклов впрыска топлива (через каждые 5 минут);

– 6 часов без нагрева;

– повторное проведение измерения объема топлива, прокачиваемого через форсунку за 40 сек и повторение суточного цикла.

Суточный цикл повторяют четыре раза, таким образом, суммарное количество впрысков составляет 864. После этого проводят оценку степени затемнения донышка форсунки в районе распыливающих отверстий с помощью цветовой шкалы.

Оценку отложений проводили двумя методами (таблица 1):

1. бальным – визуально, сравнивая с градуировочной шкалой;
2. ИК-спектрометрическим методом.

ИК-спектральные исследования проводили на ИК-Фурье спектрометре ФТ-801 с инфракрасным широкодиапазонным микроскопом.

Для сканирования ИК-спектров с поверхности форсунки, предварительно спиливали донышко и закрепляли его на подложке в строго горизонтальной плоскости. С помощью ПО «ПУМА» снимали спектры в 600 точках, равноудаленных друг от друга на расстоянии 5 Å (рисунок 1).

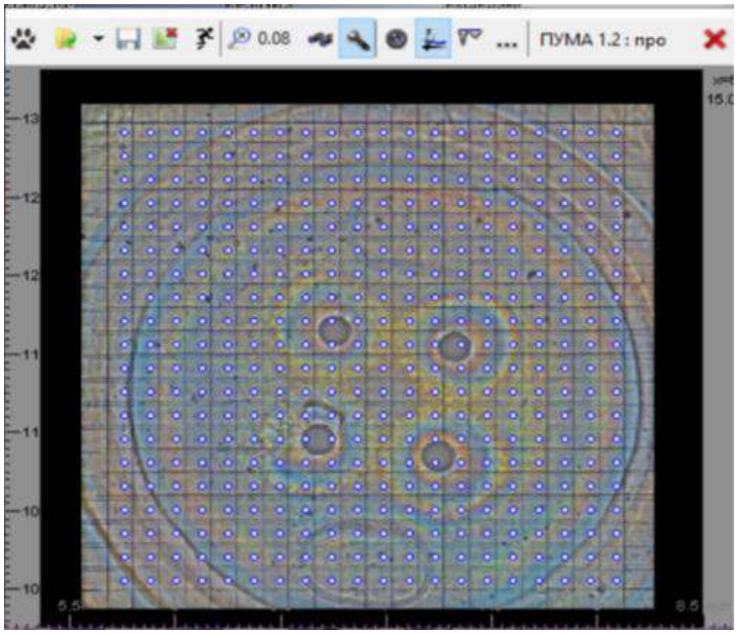
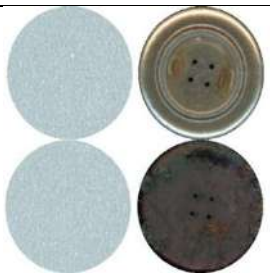
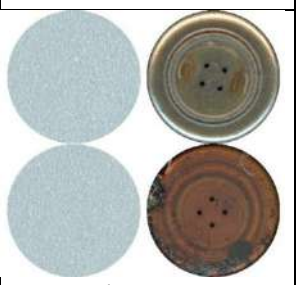


Рисунок 1 – Изображение донышка форсунки в ПО «ПУМА» при постановке задачи сканирования спектров в 600 точках

Количественную оценку отложений проводили по сумме площадей пиков (∑S) (на всех спектрах) с максимумами с области 1625 см$^{-1}$ и 1739 см$^{-1}$ при базовой линии от 1531 см$^{-1}$ до 1867 см$^{-1}$, характеризующих карбоксильные, карбонильные, сложноэфирные группы и непредельные связи С=С. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Оценка склонности смесевого дизельного топлива к образованию высокотемпературных отложений

Способы оценки отложений	Оценка отложений		
	Образец 5	Образец 6	Образец 7
Бальная оценка отложений	Баллы: 3	 Баллы: 6,0	 Баллы: 4,5-5,0
Спектральная оценка: ∑S в области 1626 - 1740 см$^{-1}$, S·10^{-3}	67	>177	108

Несмотря на ожидаемое снижение эффективности антиокислительной присадки Агидол-1 при 200 ºС, было отмечено существенное уменьшение нагара на донышке распылительной форсунки при покачивании образца №7, что свидетельствует о положительном влиянии Агидол-1 на химическую стабильность смесевых топлив даже при высоких температурах.

Результаты ИК-спектральной оценки отложений согласуются с результатами бальной оценки, но являются более дифференцированными.

Выводы.

1. Бензиновая, дизельная и керосиновая фракции не соответствуют требованиям нормативной документации по показателям: «Плотность при 20 ºС», «Кинематическая вязкость 20 ºС», это связано с тем, что при производстве нефти по методу Фишера-Тропша из природного газа практически не образуется ароматических соединений

2. Вторым недостатком бензиновой, дизельной и керосиновой фракций синтетической нефти является наличие большого количества непредельных соединений, поэтому для соответствия требованиям, предъявляемым к топливам, фракции синтетической нефти необходимо гидрировать.

3. Фракции синтетической нефти могут рассматриваться как добавки к нефтяным топливам для улучшения различных показателей. Например, гидрированная керосиновая фракция синтетической нефти может вводиться в состав высокоароматической нефтяной керосиновой фракции для уменьшения содержания ароматических соединений, а дизельная фракция – в дизельное топливо для увеличения ЦЧ.

4. На основании результатов, полученными на безмоторной установке ОСВ-М с применением ИК-Фурье спектрометрии, показана перспективность применения антиокислительной присадки Агидол-1 для снижения отложений на форсунках двигателей, работающих на смесевых топливах.

Список источников

1. Патрахальцев Н.Н. Гаева Т.Н. Некоторые возможности применения в дизелях альтернативных топлив в качестве добавок к основному дизельному // Транспорт альтернативном топлива. №3 (75). 2020. С. 44-52.

2. Рагимов Э.А. Влияние альтернативных топлив на окружающую среду // Транспорт на альтернативном топливе. №2 (74). 2020. С. 64-70.

3. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. pp. 1196–1203.

4. National Renewable Energy Laboratory. 2006 B100 quality survey results; 2007. ⟨http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41549.pdf⟩. [Accessed 5 February 2017].

5. Repetto MG, Boveris A. Transition metals: bioinorganic and redox reactions in biological systems. In: Mishra AK, editor. Transition metals: uses and characteristics // New York: Nova Science Publishers Inc; 2012. p. 349–370.

6. Shahidi F, Janitha PK, Wanasundara PD. Phenolic antioxidants // Crit Rev Food Sci Nutr. 1992. V. 32(1). P. 67–103.

7. Sherwin ER. Synthetic antioxidants for fats and oil. In: Min DB, Smouse TH, editors. Flavor chemistry of fats and oils. St. Louis // American Oil Chemists' Society. 1985. P. 155–189.

8. Tseng HH, Tseng TC. Effects of butylated hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene and tertiary butyl hydroquinone on growth and luteoskyrin production by penicillium and islandicum // Mycopathologia. 1995. V. 129. P. 73–78.

9. Almeida ES, et al. Behaviour of the antioxidant tert-butylhydroquinone on the storage stability and corrosive character of biodiesel // Fuel. 2011 V. 90. P. 3480–3484.

10. Buosi GM, Da Silva ET, Spacino K, Silva LRC, Ferreira BAD, Borsato D. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil: comparison between synthetic and natural antioxidants // Fuel. 2016. V. 181. P. 759–764.

11. Jakeria MR, Fazel MA, Haseeb ASMA. Influence of different factors on the stability of biodiesel: a review // Renew Sustain Energy Rev. 2014 V.30. P.154–163.

12. EN 15751–2014 Automotive fuels. Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel. Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method. – 18 p.

13. The Coordinating European Council for the Development of Perfomance Test for Transportation Fuels, Lubricants and Other Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.cectests.org (дата обращения 11.03.2020).

14. Яковлев, А.В. Использование бензиновой форсунки для определения склонности дизельных топлив к образованию отложений в распылителях форсунок дизеля / А.В. Яковлев, Я.С. Криворак, Е.А. Шарин //ТРУДЫ 25 ГОСНИИ МО РФ. – 2020. – Вып 59. – С. 204.

References

1. Patrahaltsev N.N. Gaeva T.N. Some possibilities of using alternative fuels in diesel engines as additives to the main diesel // Transport of alternative fuels. No. 3 (75). 2020. pp. 44-52.

2. Ragimov E.A. The impact of alternative fuels on the environment // Transport on alternative fuels. No. 2 (74). 2020. pp. 64-70.

3. Park JY, Kim DK, Lee JP, Park SC, Kim YJ, Lee JS. Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties // Bioresource Technology. 2008. Vol. 99. pp. 1196–1203.

4. National Renewable Energy Laboratory. 2006 B100 quality survey results; 2007. ⟨http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/41549.pdf⟩. [Accessed 5 February 2017].

5. Repetto MG, Boveris A. Transition metals: bioinorganic and redox reactions in biological systems. In: Mishra AK, editor. Transition metals: uses and characteristics // New York: Nova Science Publishers Inc; 2012. p. 349–370.

6. Shahidi F, Janitha PK, Wanasundara PD. Phenolic antioxidants // Crit Rev Food Sci Nutr. 1992. V. 32(1). P. 67–103.

7. Sherwin ER. Synthetic antioxidants for fats and oil. In: Min DB, Smouse TH, editors. Flavor chemistry of fats and oils. St. Louis // American Oil Chemists' Society. 1985. P. 155–189.

8. Tseng HH, Tseng TC. Effects of butylated hydroxyanisole, butylated hydroxytoluene and tertiary butyl hydroquinone on growth and luteoskyrin production by penicillium and islandicum // Mycopathologia. 1995. V. 129. P. 73–78.

9. Almeida ES, et al. Behaviour of the antioxidant tert-butylhydroquinone on the storage stability and corrosive character of biodiesel // Fuel. 2011 V. 90. P. 3480–3484.

10. Buosi GM, Da Silva ET, Spacino K, Silva LRC, Ferreira BAD, Borsato D. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil: comparison between synthetic and natural antioxidants // Fuel. 2016. V. 181. P. 759–764.

11. Jakeria MR, Fazel MA, Haseeb ASMA. Influence of different factors on the stability of biodiesel: a review // Renew Sustain Energy Rev. 2014 V.30. P.154–163.

12. EN 15751–2014 Automotive fuels. Fatty acid methyl ester (FAME) fuel and blends with diesel fuel. Determination of oxidation stability by accelerated oxidation method. – 18 p.

13. The Coordinating European Council for the Development of Perfomance Test for Transportation Fuels, Lubricants and Other Fluids [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: // www.cectests.org (дата обращения 11.03.2020).

14. Yakovlev, A.V. Using a gasoline injector to determine the tendency of diesel fuels to form deposits in diesel injector nozzles / A.V. Yakovlev, Ya.S. Krivorak, E.A. Sharin // WORKS of the 25th State Research Institute of the RF Ministry of Defense. – 2020. – Issue 59. – P. 204.

Информация об авторах

А.В. Чернышева – кандидат химических наук, Б.И. Колобков – кандидат химических наук; В.А. Середа – кандидат технических наук; А.Ю. Корнев – кандидат технических наук; А.П. Ликсутина – кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Chernysheva – Candidate of chemical sciences; B. Kolobkov – Candidate of chemical sciences; V. Sereda – Candidate of technical Sciences; A. Kornev – Candidate of technical Sciences; A. Liksutina – Candidate of technical Sciences.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 14.09.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.10.2023