

Использование арахисового масла в качестве присадки к дизельному топливу

Антон Владиславович Бижаев¹,
кандидат технических наук, ассистент кафедры,
a.bizhaev@mail.ru;
Сергей Николаевич Девянин¹,
доктор технических наук, профессор;
Салим Соо²,
аспирант;

Валерий Михайлович Фомин³,
доктор технических наук, профессор;
Абдель Сатер Халиль Ибрагим²,
кандидат технических наук, доцент;
Александр Андреевич Ходяков²,
кандидат технических наук, доцент

¹Российский государственный аграрный университет–Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;

²Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация;

³Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

Реферат. В рамках экологических требований к снижению токсичности отработанных газов двигателей внутреннего сгорания, в том числе тракторных и комбайновых дизелей, большое внимание уделяют различным способам снижения вредных веществ в продуктах сгорания топлива. Решается задача использования энергосберегающих ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии, различных альтернативных видов топлива. К ним относятся растительные масла сельскохозяйственных культур, в том числе арахисовое. *(Цель исследования)* Проанализировать свойства арахисового масла как добавки к дизельному топливу и оценить показатели работы дизеля на топливе с добавками арахисового масла. *(Материалы и методы)* Арахисовое масло отличается от дизельного топлива более высокой вязкостью и меньшей теплотой сгорания. В смесь дизельного топлива с арахисовым маслом добавляли керосин для компенсации этих недостатков. В холодных климатических условиях использование арахисового масла в чистом виде затруднено, так как для него температура помутнения составляет 3,3 градуса Цельсия, что на 20 градусов выше, чем у дизельного топлива. В смеси в составе температура помутнения топлива понижается, что позволяет использовать его в более холодных условиях. *(Результаты и обсуждение)* Провели исследование на тракторном двигателе Д-120 в паре с тормозной балансирной установкой без дополнительных регулировок двигателя. Получили характеристики двигателя при работе на топливе с добавкой арахисового масла. Сравнили результаты работы двигателя на чистом дизельном топливе и смеси, выявили показатели эффективности работы и токсичности отработанных газов. *(Выводы)* Экспериментально доказали, что добавка арахисового масла к дизельному топливу сокращает удельный эффективный расход топлива, а также уменьшает выброс сажи и оксидов азота, при этом мощность двигателя снижается незначительно.

Ключевые слова: арахисовое масло, альтернативное топливо, присадка к дизельному топливу, возобновляемые источники энергии, тракторный дизель, биотопливо.

■ **Для цитирования:** Бижаев А.В., Девянин С.Н., Соо С., Фомин В.М., Ибрагим А.С.Х., Ходяков А.А. Использование арахисового масла в качестве присадки к дизельному топливу // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 45-50. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-45-50.

Using Peanut Oil as a Fuel Additive in Tractor Diesel Engines

Anton V. Bizhaev¹,
Ph.D.(Eng.), assistant professor, a.bizhaev@mail.ru;
Sergey N. Devyanin¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Salim Soo²,
postgraduate student;

Valery M. Fomin³,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Abdel Sater Khalil Ibrahim²,
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Aleksandr A. Khodyakov²,
Ph.D.(Eng.), associate professor

¹Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;

²Russian University of Peoples' Friendship, Moscow, Russian Federation;

³Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

Abstract. As part of the environmental requirements for reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines, including diesel engines of tractor and combine harvesters, great attention is paid to various ways of reducing harmful substances in the exhaust gases combustion products. The problem of using energy-saving resources, including renewable energy, various types of alternative fuels is currently solved. In several ways these include using vegetable oils from various agricultural crops, one of which is peanut oil. Its use can help to solve two urgent problems: reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines. (*Research objective*) To analyze the properties of peanut oil as an additive to diesel fuel and evaluate the performance of a diesel engine using this type of fuel. (*Materials and methods*) The properties of peanut oil differ from those of diesel fuel by higher viscosity and lower heat value. To compensate for these shortcomings, kerosene has been added to the mixture of diesel fuel with peanut oil. In cold climatic conditions, the use of pure peanut oil is difficult, since its cloud point is 3.3 degrees Celsius, which is 20 degrees higher than that of diesel fuel. In the blend composition, the cloud point of the fuel decreases, which makes it possible to use it in colder conditions. (*Results and discussion*) The authors have conducted a study on the tractor engine D-120 coupled with a brake balancer installation without additional engine adjustments. As a result, they have obtained the characteristics of the engine working on fuel with the addition of peanut oil. The authors have compared the results of the engine operation on pure and mixed diesel fuel, revealed indicators of operating efficiency and toxicity of exhaust gases. (*Conclusions*) It has been proved experimentally that the addition of peanut oil to diesel fuel leads to a decrease in the specific effective fuel consumption, and also reduces the emission of soot and nitrogen oxides, while the engine power decreases slightly.

Keywords: peanut oil, alternative fuel, diesel fuel additive, renewable energy sources, tractor diesel, biofuel.

For citation: Bizhaev A.V., Devyanin S.N., Soo S., Fomin V.M., Ibragim A.S.H., Khodyakov A.A. Ispol'zovanie arakhisovogo masla v kachestve prisadki k dizel'nomu toplivu [Using peanut oil as a fuel additive in tractor diesel engines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №6. 45-50. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-45-50 (In Russian).

Проблема снижения токсичности отработанных газов дизельных двигателей актуальна и в отрасли сельского хозяйства, так как данными типами двигателей оснащена основная масса тракторов, комбайнов и других мобильных машин. Известно, что воздействие токсичных компонентов на растения, в том числе сельскохозяйственные культуры, снижает темпы их роста и качественную ценность продуктов [1, 2].

Требования экологических стандартов во всем мире становятся все жестче, в связи с чем производители вынуждены использовать различные системы и технологии с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработанных газах (ОГ). К решению данной проблемы привлекают множество методов, количество и качество которых с течением времени возрастают. Чаще всего используют альтернативные виды топлива – как синтетического, так и органического происхождения. Предпочтение отдают природным видам топлива, таким как растительные масла, состоящие из триглицеридов жирных кислот и других вторичных компонентов, получаемых из различных сельскохозяйственных культур. Более распространены рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмовое масла, относящиеся к возобновляемым источниками энергии. Высокие темпы производства наблюдаются для пальмового и соевого масла. Во многих странах, производящих эти масла, цена на них меньше, чем на нефтеродные виды топлива (бензин и дизельное топливо), их используют не только в качестве пищевой продукции, но и в виде добавок к тра-

диционному дизельному топливу или для полного его замещения.

Растительные масла решают две глобальные проблемы: снижение токсичности ОГ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и производство возобновляемых источников энергии. Для регионов с жарким климатом приемлемы пальмовое и арахисовое масла. Основные производители пальмовых культур – Малайзия и Индонезия, а арахиса – Китай, Индия, страны Африки [3, 4].

Арахисовое масло в отличие от пальмового получило меньшее распространение как в пищевой промышленности, так и в качестве объекта для исследования альтернативного вида топлива, однако при сравнительно низкой цене в странах-производителях актуальность его использования оправдана. В настоящее время исследованиями этого вида масла как добавки в топливо занимались недостаточно. Для оценки возможности использования арахисового масла следует изучить его физические и химические свойства. На основании анализа выполняется ряд мероприятий, позволяющих дизельному двигателю полноценно функционировать при работе на арахисовом масле. Ниже приведены результаты экспериментов по использованию масла в качестве добавки к дизельному топливу, что позволяет сделать заключение о целесообразности использования арахисового масла в качестве добавки к топливу дизельного двигателя.

Цель исследования – проанализировать свойства арахисового масла как добавки к дизельному топливу и оценить показатели работы дизеля на

топливе с добавками арахисового масла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Различные виды масел характеризуются определенными физическими и химическими свойствами, которые зависят от их компонентного состава. Масло представляет собой по большей части один и тот же набор жирных кислот, отличающихся лишь процентным соотношением компонентов. В большинстве проведенных исследований наблюдается схожая тенденция изменения характеристик работы дизелей [5, 6].

Арахисовое масло по сравнению с дизельным топливом имеет большую вязкость и меньшую теплоту сгорания (табл.) [5, 7].

Сравнительно высокая вязкость арахисового масла влияет на изменение режима работы топливной аппаратуры и процесс смесеобразования в цилиндре двигателя. В первую очередь это связано со снижением утечек через прецизионно подобранные пары топливной аппаратуры, вследствие чего увеличится цикловая подача топлива, а следовательно, и характеристика давления его впрыскивания через форсунку. Для использования арахисового масла в чистом виде требуется принятие дополнительных мер, в том числе и регулировка топливной аппаратуры, что вносит определенные трудозатра-

ты. Проблему можно решить, снизив вязкость топлива различными способами, например, путем подогрева масла в топливной аппаратуре либо добавлением других компонентов. Последний способ наиболее прост в использовании, поэтому имеет смысл провести более подробные исследования.

Изучали некоторые свойства смесей дизельного топлива и арахисового масла с другими компонентами, в том числе вязкость (рис. 1). В качестве добавочного компонента выбрали керосин КО-25 (ТУ 38.401-58-10-01), свойства которого приведены в таблице. Его вязкость ниже арахисового масла в 2,25 раза при 20°C и в 1,55 раза – при 100°C, поэтому вязкость арахисового масла с добавлением керосина будет ниже, что дает возможность избежать дополнительных регулировок топливной аппаратуры.

Для дальнейшего исследования выбрали оптимальный состав: 29% дизельного топлива, 33% керосина, 38% арахисового масла. Плотность такого состава практически не отличается от плотности дизельного топлива (около 850 кг/м³ при 15°C), а низшая теплота сгорания составит 40560 кДж/кг.

В состав арахисового масла в отличие от дизельного топлива входит кислород, что повышает ка-

Таблица

Table

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА*
PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOME FUEL TYPES*

Физико-химические свойства Physical and chemical properties	Тип топлива / Fuel type			
	ДТ	АМ	АМ+ДТ 50/50	КО
Плотность при 15 °С, кг/м ³ Density at 15 °C, kg/m ³	832,4	917,3	877,7	810,5
Вязкость кинематическая, мм ² /с при: Kinematic viscosity, mm ² /s at:				
20°C	4,10	78,0	20,0	1,82
40°C	2,60	12,3	9,27	1,34
100°C	1,10	9,36	4,87	0,71
Массовое содержание, % Mass content, %				
С	86,6	78,0	82,1	85,8
Н	13,4	12,3	12,8	14,2
О	0	9,36	4,91	0
Соотношение атомов О/С The ratio of atoms O/C	0	0,090	0,047	0
Содержание атомов Н/С Content of atoms H/C	1,84	1,88	1,86	1,98
Теплота сгорания, кДж/кг: Heat of combustion, kJ/kg:				
низшая / lower	42967	37023	39829	42900
высшая / higher	45776	39638	42558	43100
Цетановое число Cetane number	50,8	36,6	55,9	38
Температура помутнения, °С Cloud point, °C	-17,8	3,3	-	-15

* ДТ – дизельное топливо, АМ – арахисовое масло, КО – осветительный керосин (КО-25)

* DT – diesel fuel, AM – peanut oil, KO – lighting kerosene (KO-25)

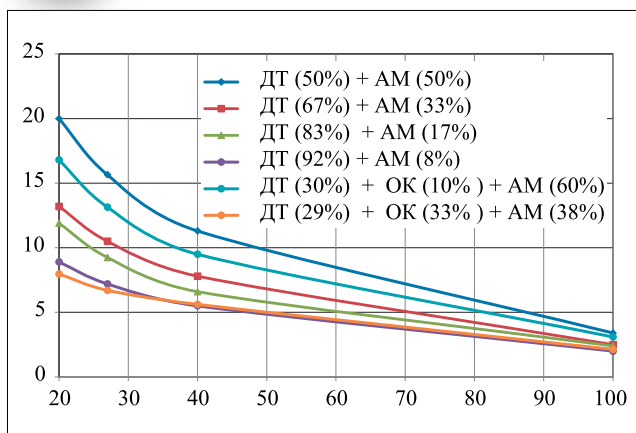


Рис. 1. Исследуемые смеси с добавками арахисового масла: ДТ – дизельное топливо; АМ – арахисовое масло; КО – осветительный керосин (КО-25)

Fig. 1. The studied mixture with additives of peanut oil:

DT – diesel fuel; AM – peanut butter; KO – lighting kerosene (KO-25)

чество его сгорания. Однако сравнительно высокая вязкость масла изменит характер смесеобразования в топливной струе, а низкое цетановое число смеси приведет к ухудшению тепловыделения и задержке момента воспламенения смеси. Это свойственно и другим видам растительных масел, чир проявляется в ухудшении эффективных характеристик топлива, повышении содержания продуктов неполного сгорания, снижении концентрации сажи и оксидов азота [8, 9].

В холодных климатических условиях использование арахисового масла в чистом виде затруднено, так как для него температура помутнения составляет 3,3°C, что на 20°C выше, чем для дизельного топлива. В выбранном смесевом составе температура помутнения топлива понижается, что позволяет использовать его в более холодных условиях.

По данным других исследований, чистое арахисовое масло дает смолистые отложения на распылителе форсунок, но при его использовании в качестве добавки к дизельному топливу и керосину эффект уменьшается. Его можно снизить также подогревом топлива до его подачи в топливную аппаратуру, предварительной очисткой или за счет использования специальных присадок [10].

В соответствии с выбранным оптимальным составом топлива сформировали программу испытаний работы дизельного двигателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Экспериментальное исследование проводили на базе лабораторной установки, состоящей из двухцилиндрового дизельного двигателя Д-120 номинальной мощностью $N_e = 18$ кВт, работающего в паре с электрической тормозной балансирной машиной мощностью 125 кВт, с весовым механизмом.

Показатели токсичности фиксировал 5-компонентный газоанализатор, а концентрацию сажи – сажемер фильтрующего типа.

В программу испытаний входило снятие нагрузочных характеристик двигателя при частоте вращения коленчатого вала $n = 1800$ мин⁻¹, причем фиксировали эффективные характеристики работы дизеля, а также показатели токсичности его ОГ. Использовали традиционное дизельное и смесевое топливо оптимального состава (29% дизельного топлива, 33% осветительного керосина и 38% арахисового масла).

В ходе эксперимента с тракторным дизелем Д-120 зафиксировали характеристики содержания оксидов азота NO_x и сажи C в ОГ, которые представляют собой основные токсичные компоненты дизельного выхлопа, определяющие общую экологическую эффективность двигателя (рис. 2).

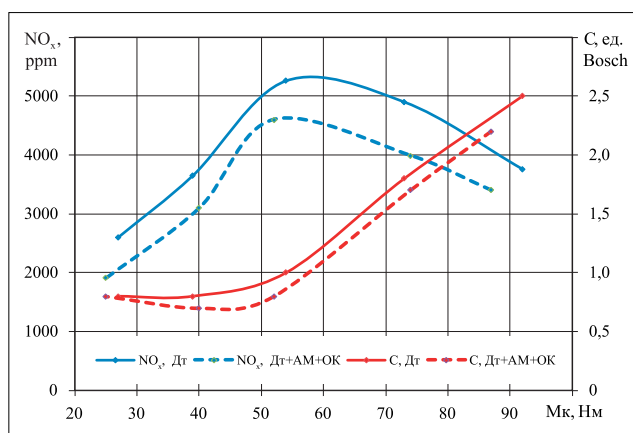


Рис. 2. Нагрузочная характеристика двигателя Д-120, зависимость содержания оксидов азота NO_x и сажи C в ОГ от нагрузки двигателя M_k

Fig. 2. Load characteristics of the D-120 engine, the dependence of the content of nitrogen oxides NO_x and soot C in the exhaust gas from the engine load M_k

При работе двигателя на традиционном дизельном топливе установлено, что при нагрузках от 26 Нм до 55-60 Нм концентрация оксидов азота NO_x возрастает с 2600 до 5400 ppm, затем плавно снижается до 3850 ppm. Аналогично ведет себя смесевое топливо с содержанием арахисового масла 38%. С увеличением нагрузки до 55 Нм концентрация оксидов азота растет с 1950 до 4600 ppm, потом снижается до 3400 ppm.

Доля содержания NO_x на всей протяженности работы двигателя на комплексной смеси с арахисовым маслом ниже на 500-900 ppm, или 10-25% по сравнению с работой двигателя на чистом дизельном топливе.

При работе двигателя на топливе с содержанием арахисового масла 38% концентрация сажи на низких нагрузках 25-50 Нм остается практически

неизменной и находится на уровне 0,6-0,7 ед. *Bosch*, а при работе двигателя на чистом дизельном топливе – 0,7-0,8 ед. *Bosch*. С увеличением нагрузки до максимальной при работе на смеси с арахисовым маслом концентрация сажи C равномерно растет до 2,2 ед. *Bosch*, а на дизельном топливе – до 2,5 ед. *Bosch*.

По построенным характеристикам определили, что при добавках арахисового масла 38% содержание сажи ниже на 0,2-0,3 ед. *Bosch* в диапазоне нагрузок от 35 Нм до максимальных, по сравнению с чистым дизельным топливом. На низких нагрузках (около 26 Нм) изменения по выбросу сажи незначительны и находятся в пределах погрешности измерений.

Схожая тенденция изменения сажи при использовании растительных масел в качестве топлив была отмечена и в других исследованиях [10].

При подаче смесового топлива зафиксировано повышение удельного эффективного расхода g_e на всей длине характеристики (рис. 3).

На максимальной нагрузке величина g_e повышается с 260 до 280 г/кВт·ч, или на 6,2%. На режимах средних и низких нагрузок $M_k = 50-70$ Нм и ниже кривая g_e ведет себя так же, то есть на 6-8% выше для смесового топлива и составляет максимум 430 г/кВт·ч по сравнению с 370 г/кВт·ч для чистого дизельного топлива.

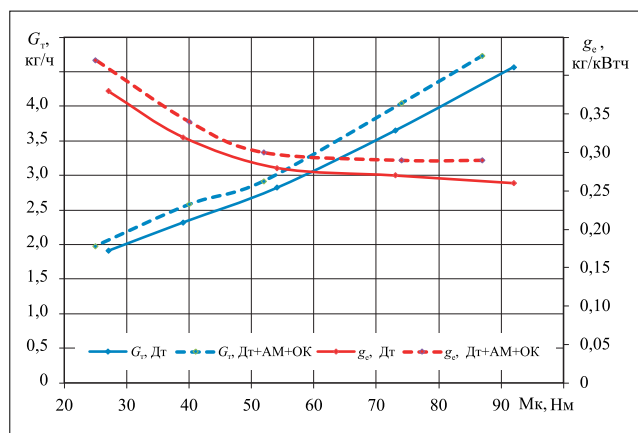


Рис. 3. Нагрузочная характеристика двигателя Д-120; зависимость удельного эффективного расхода топлива g_e и часового расхода топлива G_t от нагрузки двигателя M_k

Fig. 3. Load characteristics of the D-120 engine; Dependence of specific effective fuel consumption g_e and hourly fuel consumption G_t on engine load M_k

Часовой расход G_t топлива, содержащего 38% арахисового масла, на всем диапазоне нагрузок возрастает на 8-10%, или на 0,2-0,3 кг/ч по сравнению

с работой двигателя на чистом дизельном топливе. Данный эффект можно объяснить снижением утечек через прецизионные пары топливной аппаратуры, так как арахисовое масло обладает большей вязкостью, чем дизельное топливо, вследствие чего цикловая подача смеси увеличивается.

При использовании в качестве топлива смеси состава: 29% дизельного топлива, 38% арахисового масла и 33% осветительного керосина на всех нагрузочных режимах наблюдается снижение максимальной нагрузки на двигатель на 5%, что объясняется более низкой теплотой сгорания смесового топлива по сравнению с чистым дизельным.

Доля содержания продуктов неполного сгорания при этом повысилась незначительно, объемная доля содержания монооксидов углерода CO выросла максимум на 0,1% в абсолютных единицах, и концентрация углеводородов CH увеличилась максимум на 20 ppm.

Выводы

Экспериментально показали, что свойства арахисового масла влияют на процесс топливоподачи испытуемой топливной смеси. Это подтверждает и увеличение расхода топлива на 8-10% при 38% добавке арахисового масла. Максимальная нагрузка двигателя снижается на 5% ввиду меньшей теплоты сгорания по сравнению с дизельным топливом.

Определили, что добавка арахисового масла объемной долей 38% снижает удельный эффективный расход топлива тракторного дизеля Д-120 на 6-8%.

Экспериментом установлено снижение концентрации оксидов азота NO_x на 10-25% на всем протяжении нагрузочной характеристики при добавке 38% арахисового масла в общую смесь, что может быть связано со снижением максимальных температур при сгорании топлива.

Выбросы сажи C при работе двигателя на нагрузках 30 Нм и выше снижаются на 0,2-0,3 ед. *Bosch*, и максимум – на 25% в районе средних нагрузок.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, подобны аналогичным исследованиям работы дизелей на растительных маслах в качестве топлива или их добавок, и не противоречат общей научной концепции.

Учитывая полученные экспериментальные данные, сравнительно низкую стоимость арахиса в регионах возделывания этой культуры и тенденцию к производству возобновляемых источников энергии, в ближайшей перспективе арахисовое масло может использоваться как добавка к топливу тракторных дизелей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев Г.С., Борисочкина Т.И., Шапкайц А.Д. Влияние выхлопных газов дизельных двигателей на растения. *Земледелие*. 1995. N4. С. 15.
2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. Уфа: Изд-во башкирского государственного аграрного университета. 2000. 144 с.
3. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО). 2016. 292 с.
4. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение: пер. с англ. 2-е изд. СПб.: Профессия. 2007. 752 с.
5. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75.
6. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629.
7. Шкаликova В.Н., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов. 1993. 64 с.
8. Barsic N.J., Humke A.L. Vegetable oils: diesel fuel supplements? *Automotive Engineering*. 1981. Vol. 89. N4. 37-41.
9. Barsic N.J., Humke A.L. Performance and emissions characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels. *SAE Technical Paper Series*. 1981. N810262. 1-10.
10. Ziejewski M., Kaufman K.R., Tupa R.C. Laboratory endurance testing of a 25/75 sunflower oil-diesel fuel blend treated with fuel additives. *SAE Technical Paper Series*. 1984. N840236. 1-10.

REFERENCES

1. Savel'yev G.S., Borisochkina T.I., Shapkaits A.D. Vliyanie vykhlopnykh gazov dizel'nykh dvigateley na rasteniya [Effect of diesel exhaust on plants]. *Zemledeliye*. 1995. N4. 15 (In Russian).
2. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. Ufa: Izd-vo bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2000. 144 (In Russian).
3. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaydar S.M. Biotopliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines]. Moscow: NITS "Inzhener" (Soyuz NIO). 2016. 292 (In Russian).
4. O'Brayyen R. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye: per. s angl [Fats and oils. Production, composition and properties, application: translated from English]. 2nd ed. SPb.: Professiya. 2007. 752 (In Russian).
5. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75. (In English).
6. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629 (In English).
7. Shkalikova V.N., Patrakhal'tsev N.N. Primeneniye netraditsionnykh topliv v dizelyakh [The use of unconventional fuels in diesel engines]. Moscow: Izd-vo Rossiyskogo universitetata druzhby narodov. 1993. 64 (In Russian).
8. Barsic N.J., Humke A.L. Vegetable oils: diesel fuel supplements? *Automotive Engineering*. 1981. Vol. 89. N4. 37-41 (In English).
9. Barsic N.J., Humke A.L. Performance and emissions characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels. *SAE Technical Paper Series*. 1981. N810262. 1-10 (In English).
10. Ziejewski M., Kaufman K.R., Tupa R.C. Laboratory endurance testing of a 25/75 sunflower oil-diesel fuel blend treated with fuel additives. *SAE Technical Paper Series*. 1984. N840236. 1-10 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19.10.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 19.10.2018

Статья принята к публикации 16.11.2018
The paper was accepted
for publication on 16.11.2018