

DOI: 10.18721/JEST.25109
УДК 621.43

В.А. Лиханов, О.П. Лопатин

Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ БИОДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА СПИРТЕ

В работе обоснована необходимость использования биотоплив на основе спирта в дизельных двигателях. Исследованы такие возобновляемые экологические источники энергии, как метиловый и этиловый спирты. С целью разработки и оптимизации состава спирто-топливных эмульсий для применения в дизеле проведены его исследования при работе на дизельном топливе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях. Предложено перспективное решение по улучшению экологических показателей дизеля путем применения спирто-топливных эмульсий, что позволяет снизить в отработавших газах при работе на метанолю-топливной эмульсии содержание оксидов азота – на 41,3 %, сажи – в 6,9 раза, диоксида углерода – на 6,7 %, оксида углерода – на 45,0 %; при работе на этанолю-топливной эмульсии: оксидов азота – на 50,2 %, сажи – в 5,2 раза, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода – на 25,0 %.

Ключевые слова: дизельный двигатель, метанол, этанол, эмульсия, биотопливо, токсичность.

Ссылка при цитировании:

В.А. Лиханов, О.П. Лопатин. Исследование токсичности биодизельного двигателя, работающего на спирте // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25. № 1. С. 92–100. DOI: 10.18721/JEST.25109.

V.A. Likhanov, O.P. Lopatin

Vyatka state agricultural academy, Kirov, Russia

STUDY ON TOXICITY OF BIODIESEL ENGINE RUNNING ON ALCOHOL

The paper substantiates the need for using biofuels based on alcohol in diesel engines. Such renewable environmental energy sources as methyl and ethyl alcohols were investigated. In order to develop, determine and optimize the composition of alcohol-fuel emulsions for use in diesel, studies were carried out for engines running on diesel fuel, methanol and ethanol fuel emulsions. We have found a promising solution to improve the environmental performance of diesel through using alcohol fuel emulsions, allowing to reduce the content of exhaust gases for engines running on methanol fuel emulsion: nitrogen oxides by 41.3 %, soot by 6.9 times, carbon dioxide by 6.7 %, carbon monoxide by 45.0 %; for engines running on ethanol fuel emulsion: nitrogen oxides by 50.2 %, soot by 5.2 times, carbon dioxide by 23.8 %, carbon monoxide by 25.0 %.

Keywords: diesel engine, methanol, ethanol, emulsion, biofuel, toxicity.

Citation:

V.A. Likhanov, O.P. Lopatin, Study on toxicity of biodiesel engine running on alcohol, *St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology*, 25(01)(2019) 92–100, DOI: 10.18721/JEST.25109.

Введение

Хорошо известно, что для дизельных двигателей постоянно разрабатываются и совершенствуются нормы выбросов вредных веществ не только в масштабах конкретного региона, страны, но и в рамках международных программ ЕЭК ООН. В настоящее время экологические требования к дизелям наиболее приоритетны, при этом параметры, характеризующие экологичность отработавших газов (ОГ), производители дизелей закладывают в их конструкцию уже на стадии проектирования, причем они не должны ухудшаться в процессе эксплуатации. Будущее за экологически чистыми тепловыми двигателями, работающими на альтернативных нефтяному видах топлива. Всё более широкое распространение получают альтернативные виды биотоплива на основе спиртов и растительных масел (рапсовое, подсолнечное, соевое, арахисовое, пальмовое), а также их производных. Интенсивные работы по переводу дизелей на биотопливо ведутся как в странах с ограниченным энергетическим потенциалом, так и в странах с большими запасами нефти, а также в высокоразвитых странах, имеющих финансовую возможность приобретения различных альтернативных видов топлива [1, 2].

Наиболее исследованными и перспективными на сегодняшний день для применения в дизелях являются спирты, такие, как метанол (CH_3OH) и этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Среди положительных свойств метанола для применения в дизелях можно отметить наличие в его молекуле атома кислорода, что даёт возможность использовать метанол в качестве оксигенатов (кислородсодержащих компонентов), способствующих снижению вредных выбросов сажи и СО в продуктах его сгорания. Этанол широко используется в пищевой промышленности, парфюмерии, медицине, химической промышленности, кожевенной промышленности, радиоэлектронике, на бытовые нужды и, конечно же, в топливной промышленности. Метанол нашёл большое применение в химиче-

ской промышленности, и немалые его объёмы применяются в производстве топлив для тепловых двигателей. Применение этих спиртов в качестве альтернативного биотоплива для дизелей стало возможным в результате их получения доступным способом из сельскохозяйственных и пищевых отходов, из газообразного топлива. Но более важная причина в применении метанола и этанола – это снижение выбросов токсичных компонентов ОГ (рис. 1) [3].

При использовании спиртов как топлива для дизелей можно значительно снизить выбросы сажевых частиц и оксидов азота. Это происходит вследствие того, что при горении спирта в камере сгорания дизеля образуется меньше (чем у дизельного топлива) промежуточных продуктов, способствующих зарождению ацетиленовых и ароматических углеводородов, которые и приводят к образованию сажи. Кроме того, в ОГ при сгорании метанола и этанола значительно меньше различных соединений серы. Спирт со своей более простой структурой и незначительными размерами молекул служит одним из определяющих факторов более «чистого сгорания» топлива [4].

По сравнению с другими альтернативными видами топлива стоимость метанола невысока, но один из его недостатков – это большая теплота испарения при низкой температуре кипения (1104 кДж/кг против 250 кДж/кг у штатного дизельного топлива). Это приводит к охлаждению воздушного заряда вследствие испарения спирта при низких цетановых числах и высоких температурах самовоспламенения, что в итоге является причиной плохого воспламенения в камере сгорания дизеля. Воспламенение метанола в таких условиях возможно с помощью дополнительно установленных источников воспламенения, подачи метанола на впуск или использования различных катализаторов, которые способствуют снижению температуры воспламенения, а также ускоряют реакции горения. Ещё один эффективный способ воспламенения метанола в камере сгорания дизеля –

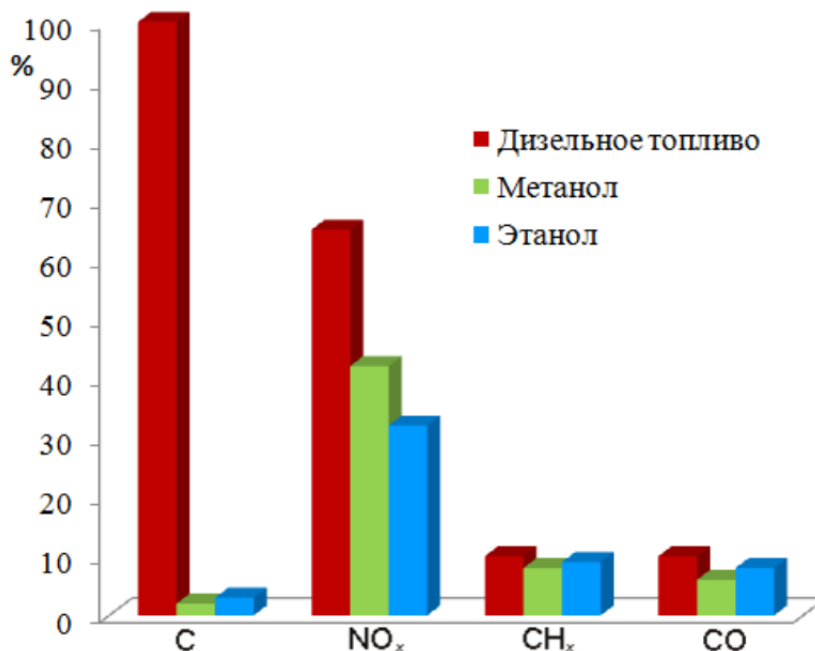


Рис. 1. Относительное содержание вредных веществ в ОГ дизельных двигателей, работающих на дизельном топливе и спиртах, % (за 100 % принято содержание сажи для дизельного топлива)

Fig. 1. The relative content of harmful substances in the EG of diesel engines running on diesel fuel and alcohols, % (for 100 % diesel fuel on soot is accepted)

подача запальной порции штатного дизельного топлива в камеру сгорания. С целью улучшения воспламенения спиртов используют двойные системы топливоподачи, которые одновременно с подачей спирта (основное биотопливо) осуществляют и подачу запальной порции дизельного топлива [5].

Требуемые физико-химические свойства альтернативного биотоплива обуславливают применение соответствующих технологий, способных обеспечить эксплуатационные, экономические и экологические показатели. При производстве биотоплива применяют различные виды растительных масел: рапсовое, льняное, подсолнечное, пальмовое и др. При этом полученное биотопливо из разных растительных масел имеет ряд отличительных физико-химических признаков. К таким признакам относятся: низшая теплота сгорания,

вязкость, плотность, фильтруемость, температура застывания, коксуемость, цетановое число и др. (табл. 1) [6].

Данные табл. 1 наглядно демонстрируют схожесть параметров биотоплива с дизельным топливом по плотности и расхождению по кинематической вязкости, низшей теплоте сгорания и цетановому числу. Естественно, все это говорит о том, что в чистом виде один вид биотоплива сложно применим в дизеле. Поэтому было принято решение о применении биотоплива в форме эмульсий в сочетании со спиртом, что позволяет приблизить значения физико-химических свойств биотоплива к штатному дизельному топливу [7].

Цель данной работы – применение экологичных видов биотоплива в дизелях для улучшения их экологических показателей и экономии нефтяного моторного топлива.

Таблица 1

Физико-химические характеристики биотоплива и дизельного топлива

Table 1

Physical and chemical characteristics of biofuels and diesel fuel

Топливо	Характеристики топлива			
	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	Цетановое число
Метанол	795	0,55	20,0	3
Этанол	790	1,20	27,4	8
Рапсовое масло	877	80	36,7	44
МЭРМ	860–900	12	37,2	51
Дизельное топливо	863	3,0–6,0	42,5	45

Методика исследований

Для проведения исследований создана экспериментальная база в научно-исследовательской лаборатории испытания дизелей кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской государственной сельскохозяйственной академии. Экспериментальная база включает электротормозной стенд SAK-N670 с балансирным маятниковым механизмом, устанавливаемые на него дизели, измерительную аппаратуру. Приготовление эмульсий осуществлялось гомогенизатором MPW-302 при частоте вращения вала 2000 мин⁻¹. Отбор проб ОГ производился газозаборниками автоматической системы газового анализа (АСГА-Т), установленными в выпускном трубопроводе дизеля. Дымность отработавших газов измерялась с помощью дымомера «BOSCH-EFAW-68A» [8, 9].

При испытаниях дизеля, работающего на спиртовой эмульсии, использовался следующий состав, %: спирт – 25, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5, вода – 7, дизельное топливо – 67,5 [10].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 и 3 представлены экологические показатели дизеля, работающего на метанолю-топливной эмульсии (МТЭ) и этанолю-топливной эмульсии (ЭТЭ) в зависимости от

установочного угла опережения впрыскивания топлива ($\Theta_{впр}$).

Анализ кривых токсичности ОГ дизеля, работающего по дизельному процессу, показывает, что с увеличением установочного угла опережения впрыскивания топлива $\Theta_{впр}$ происходит рост оксидов азота NO_x и суммарных углеводородов CH_x . Содержание оксида углерода CO и диоксида CO_2 с увеличением $\Theta_{впр}$ снижается [11].

Обсуждая результаты исследований экологических показателей работы дизеля в зависимости от изменения $\Theta_{впр}$, следует отметить, что некоторые зависимости содержания токсичных компонентов в отработавших газах при работе на спирто-топливной эмульсии отличаются от аналогичных кривых для дизельного процесса. Анализ показал, что отличающийся от дизельного процесса характер зависимостей имеют только токсичные компоненты, получающиеся в результате неполноты сгорания топлива. Скорее всего, это объясняется тем, что у применяемых спиртов меньшие по отношению к дизельному топливу теплотворная способность и значения цетановых чисел, что приводит к увеличению периода задержки воспламенения и росту продуктов неполного сгорания топлива – CH_x , CO и сажи. Применение же спирто-топливных эмульсий снижает содержание в ОГ оксидов азота, оксида и диоксида углерода и сажи [12, 13].

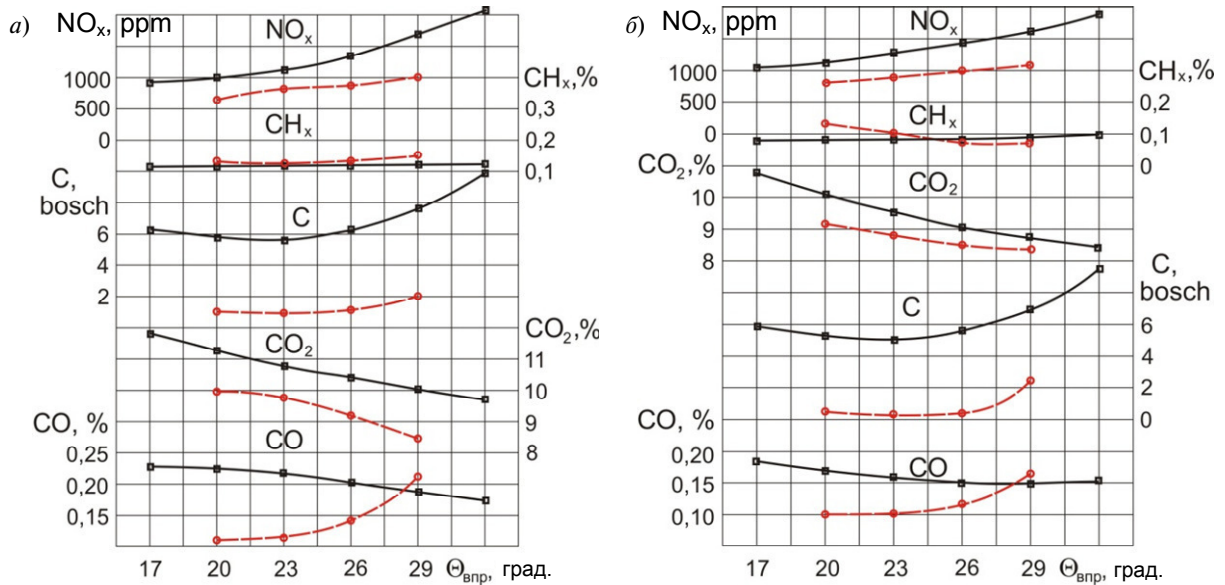


Рис. 2. Зависимость экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 от изменения $\Theta_{впр}$: а – $n=2200 \text{ мин}^{-1}$; б – $n=1700 \text{ мин}^{-1}$;

— дизельное топливо; — — МТЭ

Fig. 2. The dependence of the environmental performance of diesel engine 4F 11.0/12.5 from changes Θ_{inj} : а – $n=2200 \text{ min}^{-1}$; б – $n=1700 \text{ min}^{-1}$;

- Diesel fuel; - - - MFE

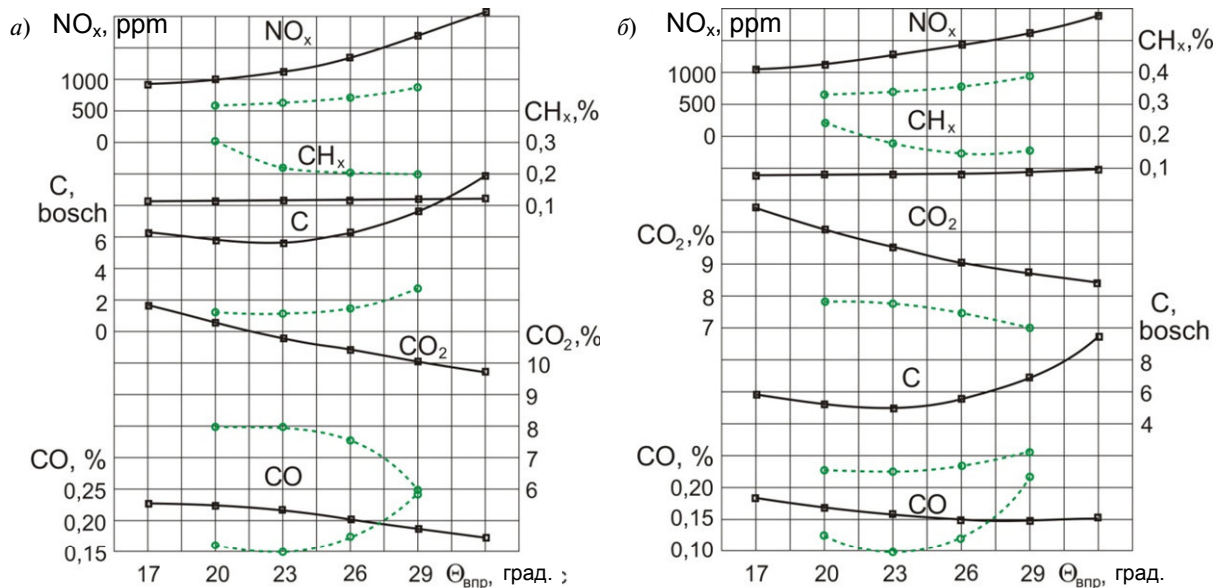


Рис. 3. Зависимость экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 от изменения $\Theta_{впр}$: а – $n=2200 \text{ мин}^{-1}$; б – $n=1700 \text{ мин}^{-1}$;

— дизельное топливо; - - - ЭТЭ

Fig. 3. The dependence of the environmental performance of diesel engine 4F 11.0/12.5 from changes Θ_{inj} : а – $n=2200 \text{ min}^{-1}$; б – $n=1700 \text{ min}^{-1}$;

— Diesel fuel; - - - EFE

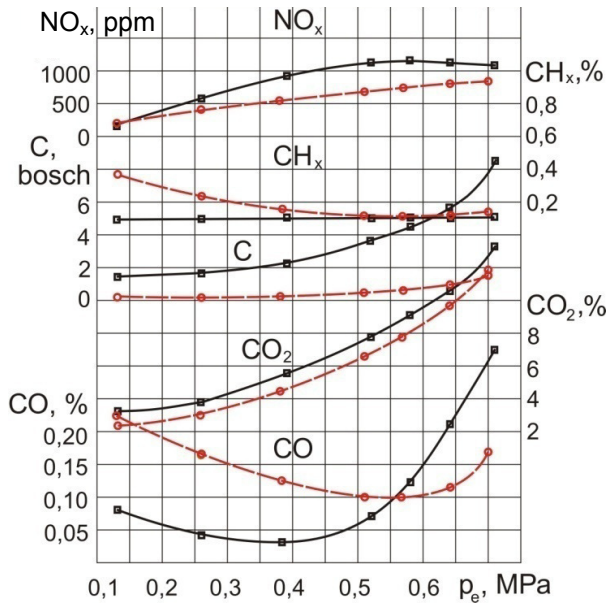


Рис. 4. Зависимость экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$:

— дизельное топливо; — МТЭ

Fig. 4. The dependence of the environmental performance of the diesel 4F 11.0/12.5 from the load changes at $n = 2200 \text{ min}^{-1}$:

— Diesel fuel; — MFE

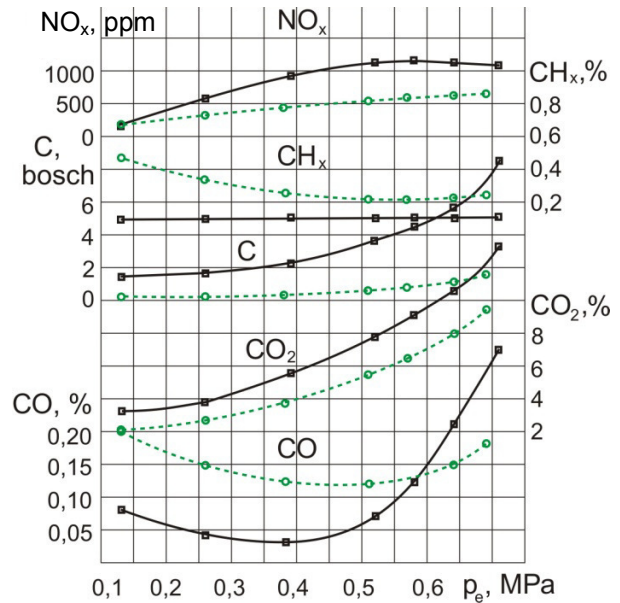


Рис. 5. Зависимость экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 от изменения нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$:

— дизельное топливо; — ЭТЭ

Fig. 5. The dependence of the environmental performance of the diesel 4F 11.0/12.5 from the load changes at $n = 2200 \text{ min}^{-1}$:

— Diesel fuel; — EFE

Таблица 2

Результаты исследований показателей токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при оптимальных значениях $\Theta_{впр}$ и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $P_e = 0,64 \text{ МПа}$)

Table 2

The results of studies of the toxicity and opacity of the EG of diesel 4F 11.0/12.5 at optimal values of Θ_{inj} and nominal mode ($n = 2200 \text{ min}^{-1}$, $P_e = 0.64 \text{ MPa}$)

Топливо	Показатели			
	Оксиды азота NO_x , ppm	Сажа C , единицы по шкале Bosch	CO_2 , %	CO , %
Дизельное	1320	6,2	10,5	0,20
Метанолю-топливная эмульсия	775 (снижение на 41,3 %)	0,9 (снижение в 6,9 раза)	9,8 (снижение на 6,7 %)	0,11 (снижение на 45,0 %)
Этаноло-топливная эмульсия	657 (снижение на 50,2 %)	1,2 (снижение в 5,2 раза)	8,0 (снижение на 23,8 %)	0,15 (снижение на 25,0 %)

На рис. 4 и 5 представлены зависимости экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 от нагрузки при номинальном скоростном режиме.

Анализ графиков токсичности и дымности ОГ дизеля при работе на спирто-топливных

эмульсиях показывает, что во всем исследуемом диапазоне нагрузки происходит снижение содержания оксидов азота NO_x , сажи C , диоксида углерода CO_2 и оксида углерода CO при максимальных значениях P_e , при этом отмечен рост суммарных углеводородов CH_x [14].

Результаты исследований показателей токсичности и дымности отработавших газов дизеля представлены в табл. 2 [15].

Заключение

На основании полученных результатов предложено поддерживать следующие соотношения спирто-топливных эмульсий: спирт (метанол или этанол) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %.

При работе дизеля 4Ч 11,0/12 на спирто-топливной эмульсии указанного состава определено значение оптимального установочного угла опережения впрыскивания топлива – 23°. Это же значение рекомендовано и для дизельного процесса.

Дано перспективное решение улучшения экологических показателей дизеля путем применения спирто-топливных эмульсий, позволяющее снизить содержание в ОГ: при работе на метаноле-топливной эмульсии – оксидов азота на 41,3 %, сажи в 6,9 раза, диоксида углерода на 6,7 %, оксида углерода на 45,0 %; при работе на этаноле-топливной эмульсии – оксидов азота на 50,2 %, сажи в 5,2 раза, диоксида углерода на 23,8 %, оксида углерода на 25,0 %.

Авторы выражают благодарность за помощь в анализе полученных результатов при подготовке рукописи к печати, академику РАН, научному руководителю Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого **Юрию Сергеевичу Васильеву**.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Sivakumar M., Ramesh Kumar R., Syed Thasthagir M.H., Shanmuga Sundaram N.** Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine // *Renewable Energy*. 2018. Vol. 116. P. 518–526.
2. **Chang W.R., Hwang J.J., Wu W.** Environmental impact and Sustainability study on Biofuels for Transportation Applications // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 67. P. 277–288.
3. **Starik A.M., Savel'ev A.M., Favorskii O.N., Titova N.S.** Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels // *International Journal of Green Energy*. 2018. Vol. 15. № 3. P. 161–168.
4. **Presser C., Nazarian A., Millo A.** Laser-driven calorimetry measurements of petroleum and biodiesel fuels // *Fuel*. 2018. Vol. 214. P. 656–666.
5. **Aydin F., Ogut H.** Effects of Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel in Single Cylinder Diesel Engine to engine Performance and Emissions // *Renewable Energy*. 2017. Vol. 103. P. 688–694.
6. **Han K., Yang B., Zhao C. [et al.].** Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. Vol. 70. P. 381–388.
7. **Zhang S., Wu W., Lee C.-F. [et al.].** A Semi-detailed chemical Kinetic Mechanism of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) and Diesel blend for Combustion Simulations // *SAE International Journal of Engines*. 2016. Vol. 9. № 1. P. 631–640.
8. **Козлов А.Н., Арасланов М.И.** Определение оптимальных установочных углов опережения впрыскивания топлива дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на этаноле и рапсовом масле // *Аграрный научный журнал*. 2014. № 6. С. 47–49.
9. **Фоминых А.В., Копчиков В.Н., Николаевский М.Д.** Определение оптимальных установочных углов опережения впрыска метанола и метилового эфира рапсового масла дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи // *Аграрный научный журнал*. 2015. № 1. С. 51–53.
10. **Romanyuk V., Likhanov V.A., Lopatin O.P.** Reducing the environmental threat of motor vehicles by converting engines for operating on natural gas // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. № 3. С. 27–32.
11. **Анфилатова Н.С., Анфилатов А.А.** Образование оксидов азота в поршневых двигателях // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*. 2017. № 19. С. 317–320.
12. **Rajesh Kumar B., Saravanan S.** Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: a Review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. P. 84–115.



13. **Datta A., Mandal B.K.** Impact of Alcohol Addition to Diesel on the Performance Combustion and Emissions of a Compression Ignition Engine // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 98. P. 670–682.

14. **Романов С.А.** Результаты исследования экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии в зависимости от изменения нагрузки // Улучшение экс-

плуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: материалы IX Международной научно-практической конференции. Киров: Изд-во Вятской ГСХА, 2016. С. 331–335.

15. **Likhanov V.A., Lopatin O.P.** Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants // *Thermal Engineering*. 2017. Vol. 64. № 12. P. 935–944.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛИХАНОВ Виталий Анатольевич — доктор технических наук профессор Вятской государственной сельскохозяйственной академии

E-mail: lihanov.va@mail.ru

ЛОПАТИН Олег Петрович — кандидат технических наук доцент Вятской государственной сельскохозяйственной академии

E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 21.01.2019

REFERENCES

[1] **Sivakumar M., Ramesh Kumar R., Syed Thasthagir M.H., Shanmuga Sundaram N.** Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 116. P. 518–526.

[2] **Chang W.R., Hwang J.J., Wu W.** Environmental impact and Sustainability study on Biofuels for Transportation Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 67. P. 277–288.

[3] **Starik A.M., Savel'ev A.M., Favoriskii O.N., Titova N.S.** Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels. *International Journal of Green Energy*. 2018. Vol. 15. № 3. P. 161–168.

[4] **Presser C., Nazarian A., Millo A.** Laser-driven calorimetry measurements of petroleum and biodiesel fuels. *Fuel*. 2018. Vol. 214. P. 656–666.

[5] **Aydin F., Ogut H.** Effects of Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel in Single Cylinder Diesel Engine to engine Performance and Emissions. *Renewable Energy*. 2017. Vol. 103. P. 688–694.

[6] **Han K., Yang B., Zhao C. [et al.]** Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. Vol. 70. P. 381–388.

[7] **Zhang S., Wu W., Lee C.-F. [et al.]** A Semi-detailed chemical Kinetic Mechanism of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) and Diesel blend for Combustion Simulations. *SAE International Journal of Engines*. 2016. Vol. 9. № 1. P. 631–640.

[8] **Kozlov A.N., Araslanov M.I.** Opredeleniye optimalnykh ustanovochnykh uglov operezheniya vpryskivaniya topliva dizelya 2Ch 10,5/12,0 pri rabote na etanole i rapsovom masle. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2014. № 6. S. 47–49. (rus.)

[9] **Fominykh A.V., Kopchikov V.N., Nikolayevskiy M.D.** Opredeleniye optimalnykh ustanovochnykh uglov operezheniya vpryska metanola i metilovogo efira rapsovogo masla dizelya 2Ch 10,5/12,0 pri rabote s dvoynoy sistemoy toplivopodachi. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2015. № 1. S. 51–53. (rus.)

[10] **Romanyuk V., Likhanov V.A., Lopatin O.P.** Reducing the environmental threat of motor vehicles by converting engines for operating on natural gas. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2018. № 3. S. 27–32. (rus.)

[11] **Anfilatova N.S., Anfilatov A.A.** Obrazovaniye oksidov azota v porshnevnykh dvigatelyakh. *Aktualnyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktii selskogo khozyaystva*. 2017. № 19. S. 317–320. (rus.)

[12] **Rajesh Kumar B., Saravanan S.** Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: a Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. P. 84–115.

[13] **Datta A., Mandal B.K.** Impact of Alcohol Addition to Diesel on the Performance Combustion and Emissions of a Compression Ignition Engine. *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 98. P. 670–682.

[14] **Romanov S.A.** Rezultaty issledovaniya ekologicheskikh pokazateley dizelya 4Ch 11,0/12,5 pri

rabote na metanolo-toplivnoy emulsii v zavisimosti ot izmeneniya nagruzki. *Uluchsheniye ekspluatatsionnykh pokazateley dvigateley vnutrennego sgoraniya: Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kirov: Izd-vo Vyatskoy GSKhA, 2016. S. 331–335.

[15] **Likhanov V.A., Lopatin O.P.** Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants. *Thermal Engineering*. 2017. Vol. 64. № 12. P. 935–944.

THE AUTHORS

LIKHANOV Vitalii.A. – *Vyatka state agricultural academy*

E-mail: lihanov.va@mail.ru

LOPATIN Oleg P. – *Vyatka state agricultural academy*

E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Received: 21.01.2019