

rozhdeniya zasluzhennogo rabotnika sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, pochetnogo grazhdanina Chuvashskoj Respubliki Ajdaka Arkadiya Pavlovicha. – Cheboksary: Chuvashskaya GSKHA, 2017. – P. 153-158.

2. Zaitsev, P. V. Ustrojstvo dlya sanacii vozduha v zhivotnovodcheskih pomeshcheniyah / P. V. Zaitsev, G. V. Novikova, T. N. Akulova // *Ekologicheskij vestnik Chuvashii*. – 1996. – № 18. – P. 30-32.

3. Novikova, G. V. Elektro-, i svetotekhnika v zhivotnovodstve / G. V. Novikova, N. K. Kirillov, P. V. Zaitsev. – Cheboksary: CHGSKHA, 1999. – P. 216 – 222.

4. Pat. Rossijskaya Federaciya. № 2068637 S1. Ustrojstvo dlya ucheta obyoma i termicheskoj obrabotki zhidkosti / P. V. Zaitsev, G. V. Novikova, B. V. Mikhaylov; zayavitel i patentoobladatel Chuvashskij sel'skohozyajstvennyj institut. – № 93036281.; zayavl. 14. 07.1996 ; opubl. 10.11.1996, Byul. № 31– 6 s.: il.

5. Sergeeva, E. Yu. Issledovanie dinamiki nagreva produkta v dielektricheskoj rezonatornoj kamere / E. Yu. Sergeeva, P. V. Zaitsev // *Molodezh' i innovacii: materialy XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh, aspirantov i studentov*. – Cheboksary: Chuvashskaya GSKHA, 2017. – P. 221-224.

Information about the authors

1. **Zaitsev Petr Vladimirovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks Str., 29, e-mail: zapevl@mail.ru, tel. 89033599676.

2. **Zaitsev Sergey Petrovich**, PhD, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks Str., 29, e-mail: zaycevp@mail.ru, tel. 89023275635

3. **Nadezhda Petrovna Zaitseva**, Senior lecturer, Department of Economics, Management and Agroconsulting, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, K. Marks Str., 29, e-mail: nad2094@yandex.ru, tel 89603061300.

УДК 621.436

СНИЖЕНИЕ ДЫМНОСТИ ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ И ЭТАНОЛЕ

В.А. Лиханов, А.Н. Козлов, М.И. Арасланов

*Вятская государственная сельскохозяйственная академия
610017, Киров, Российская Федерация*

Аннотация. *Двигатель внутреннего сгорания является одним из основных источников вредных выбросов в окружающую среду. Дымность отработавших газов неблагоприятно сказывается на окружающей среде и на работе двигателя. Наличие большого количества сажи в отработавших газах дизеля свидетельствует о нерациональном расходовании топлива, появлении проблем, связанных со смесеобразованием (работе дизелей на богатых смесях с низким коэффициентом избытка воздуха), что приводит к неполному сгоранию топлива. Сажка представляет собой несгоревший в камере сгорания дисперсный углерод. На своей поверхности она способна абсорбировать опасные вещества и продукты неполного сгорания. Среди них присутствуют и канцерогены.*

Одним из самых эффективных методов снижения дымности отработавших газов дизеля является использование альтернативных оксигенатных видов топлива, среди которых можно выделить спирты и растительные масла. Растительные масла хорошо воспламеняются в дизеле и могут быть использованы как запальное топливо для спирта. Максимальная подача спирта в камеру сгорания позволяет сильно снизить дымность отработавших газов. В статье представлены результаты исследования эффективности работы дизеля на этаноле и запальном рапсовом масле в различных установочных углах опережения впрыскивания топлива. Установлено, что происходит снижение дымности отработавших газов и концентрации сажи в цилиндре дизеля при смещении установочных углов подачи этанола и рапсового масла от верхней мертвой точки на более раннюю подачу.

Ключевые слова: *дизель, сажка, отработавшие газы, рапсовое масло, этанол.*

Введение. Автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды, особенно в крупных городах, где его доля в суммарном загрязнении воздушного бассейна может превышать 90 %. Контроль за сокращением объемов вредных выбросов автотранспортом необходим, поскольку в дальнейшем предусматривается постепенный переход на мировые экологические стандарты, примером которых могут служить существующие в ЕС Европейские экологические стандарты (нормы «Евро»), регламентирующие содержание углеводородов, оксидов азота, угарного газа и твердых частиц (ТЧ) в выхлопе автомобилей. Наибольшей токсичностью в отработавших газах (ОГ) дизелей обладают частицы сажи и оксиды азота.

Требования к предельному содержанию ТЧ в ОГ постоянно ужесточались по мере введения новых стандартов (рисунок 1). Введение стандарта «Евро-5» предусматривает снижение выбросов ТЧ на 80 %. В нем также вводится единый норматив выбросов ТЧ для всех видов автомобильного транспорта, который составляет 5 мг/км (кроме большегрузных автомобилей и автобусов, для которых норматив до введения «Евро-6» составлял 2 мг/км). Нормы стандарта «Евро-6» предусматривают существенное уменьшение выброса оксидов азота и твердых частиц большегрузными автомобилями и автобусами. По сравнению с «Евро-5» уровень выброса твердых частиц должен уменьшиться в два раза.

В России введение норм «Евро-6» в ближайшее время не планируется, так как на данный момент проходит внедрение «Евро-5», который номинально введен в нашей стране с 1 января 2014 года. Фактически переход к соответствующим требованиям стандарта для грузовых автомобилей и автобусов был осуществлен лишь с 1 января 2015 г., с момента официального вступления в силу регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств». С 1 января 2016 г. нормы «Евро-5» стали обязательными на территории Российской Федерации для всей новой автотехники отечественного и импортного производства без исключения [2].

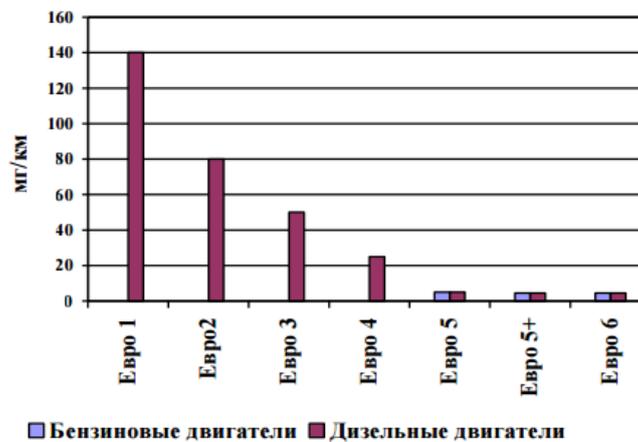


Рис. 1. Требования выбросов твердых частиц

Нормы дымности ОГ дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин приведены в соответствие с ГОСТом 17.2.2.02-98, который предусматривает, что значение дымности на установившихся режимах вновь изготовленных и капитально отремонтированных на ремонтных заводах дизелей, тракторов и машин не должно превышать значений, приведенных в таблице 1. Нормы дымности определяются в зависимости от расхода ОГ.

$$V = \frac{i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau},$$

где V – расход ОГ $\text{дм}^3/\text{с}$;

i – число цилиндров дизеля;

V_h – рабочий объем цилиндра, дм^3 ;

n – частота вращения коленчатого вала дизеля;

τ – тактность дизеля.

Таблица 1 – Значения норм дымности на установившихся режимах

Условный расход воздуха, $\text{дм}^3/\text{с}$	Дымность, м^{-1} (%), не более, при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном
42 и менее	2,260(62,2)	1,760(53,1)
50	2,080(59,1)	1,580(49,3)
100	1,495(47,4)	0,995(34,8)
150	1,225(40,9)	0,725(26,8)
200 и более	1,065(36,7)	0,565(21,6)

Всесторонний интерес ученых к процессам сажеобразования связан с необходимостью изучения его негативного воздействия на промышленные мобильные и стационарные энергоустановки, сжигающие углеводородное топливо, а также постоянным ужесточением требований к экологическим характеристикам таких установок. Сажа, образовавшаяся в КС дизеля, способна на своей поверхности адсорбировать другие продукты неполного сгорания топлива, в том числе имеющие канцерогенные свойства. При быстром охлаждении часть высокомолекулярных углеводородов (в том числе, бенз(а)пирена) не успевает пройти все стадии процесса окисления и осажается на поверхности сажевых частиц, что предопределяет канцерогенную опасность сажи. Принято считать, что в каждом грамме сажи может конденсироваться более миллиграмма

бенз(а)пирена, который является канцерогеном первого класса опасности. Также в образцах сажи из ОГ обнаруживаются тяжелые углеводороды, сконденсированные в агломераты, превращенные в смолистые вещества [3].

Выбрасываемые с ОГ дизеля частицы сажи, отличающиеся высокой стабильностью, способны несколько суток витать в воздухе, оказывая негативное влияние на здоровье человека. Попадая в легкие, они вызывают раздражение, способствуют появлению злокачественных новообразований. Частицы меньших размеров не выводятся из организма.

В результате высокой излучательной способности сажи значительно возрастают потери энергии в цилиндре дизеля в виде лучистой теплоты. Часть тепла, выделяемого при сгорании сажи, отводится конвективным путем. Таким образом, образование сажи оказывает влияние на индикаторный КПД через неполноту и несвоевременность сгорания, лучистый и конвективный теплообмен. Установлено, что снижение дымности ОГ способно в несколько раз уменьшить долю лучистого теплообмена, что приводит к уменьшению теплонапряженности деталей двигателя и способствует уменьшению износа цилиндро-поршневой группы [6].

Существует множество способов снижения дымности дизелей. Применение альтернативных видов топлива является одним из самых эффективных методов. В связи с этим существует необходимость изучения процессов сажеобразования в дизелях, в том числе при работе на альтернативных видах топлива.

Материалы и методы. В Вятской ГСХА на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов были проведены экспериментальные исследования работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на этаноле и рапсовом масле (РМ). РМ использовалось как запальное топливо, поскольку физические свойства спирта не позволяют инициировать воспламенение топливно-воздушной смеси от сжатия. Постоянная цикловая подача запального топлива устанавливалась при условии устойчивой работы в режиме холостого хода. Рост нагрузки осуществлялся с помощью увеличения цикловой подачи спирта. Такой способ был реализован за счет установки дополнительного топливного насоса высокого давления. Впрыск запального топлива в камеру сгорания осуществлялся с помощью дополнительных штифтовых форсунок.

Результаты экспериментальных исследований работы дизеля на альтернативных видах топлива сопоставлялись с результатами стендовых испытаний при работе дизеля на традиционном топливе. При этом проводилось индицирование работы дизеля, измерялись расходы разных видов топлива, воздуха, токсичность и дымность ОГ. Одновременно с замерами расходов топлива и потребления воздуха индицированием рабочего процесса дизеля при работе на РМ и этаноле в соответствии с методикой эксперимента замерялась дымность отработавших газов на всех установочных углах опережения впрыскивания различных видов топлива.

Результаты исследований и их обсуждение. В составе твердых частиц, выбрасываемых дизелями с отработавшими газами, содержатся те, которые имеют топливное и масляное происхождение. Их массовое соотношение зависит от параметров рабочего процесса и характеристик топлива. Частицы топливного происхождения представляют собой сульфаты воды, сажу и органически растворимые фракции. Доля углеродной фракции в составе ТЧ может возрасти в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов работы дизеля до 90 %. Там также содержится некоторое количество сажи, имеющей масляное происхождение. Доля её зависит от многих факторов, в том числе от угара масла, и может составлять до четверти массы твердых частиц.

Твердая углеродная фаза конденсируется в условиях диффузионного горения богатой топливно-воздушной смеси. Следовательно, снижения дымности отработавших газов можно добиться путем уменьшения концентрации химических зародышей частиц сажи в реакционной зоне. Для этого можно использовать два основных способа. Либо увеличить количество топлива, уменьшающегося в период кинетического горения, либо внедрить в реакционную зону диффузионного пламени моли окислителя, чего можно достичь при горении оксигенатных углеводородов [1, 4, 5].

При исследовании работы дизеля на РМ и этаноле в соответствии с постоянным законом топливоподачи и соотношения цикловых подач топлива было выявлено, что единственным способом, который смог оказать влияние на концентрацию зародышей сажи в период диффузионного горения, было изменение установочного угла опережения впрыска (УУОВ) РМ и этанола.

На рисунке 2 представлена двумерная регрессия экспериментальных данных дымности отработавших газов (ОГ) при работе дизеля на этаноле и РМ при номинальном режиме работы и режиме максимального крутящего момента при различных УУОВ РМ и этанола.

Минимальные значения дымности ОГ регистрируются при ранних УУОВ РМ и этанола. С уменьшением как УУОВ РМ, так и УУОВ этанола дымность ОГ растет. Так, при номинальном режиме работы двигателя при $\theta_{PM} = 42^{\circ}$ и $\theta_{\text{э}} = 38^{\circ}$ минимальная дымность составляет 1,2 ед. по шкале Bosch (рисунок 2, а). С уменьшением УУОВ РМ до $\theta_{PM} = 30^{\circ}$ дымность ОГ возрастает в 2 раза – до 2,4 ед. по шкале Bosch, что свидетельствует о значительном вкладе в суммарное сажеобразование запальной порции рапсового масла, несмотря на то, что она в четыре раза меньше основного топлива по массе цикловой подачи.

Рост дымности в зависимости от УУОВ этанола при всех УУОВ РМ незначительно выше, чем с изменением θ_{PM} . Как было представлено ранее, изменение УУОВ этанола вызывает значительное влияние на процесс сгорания. В результате сказывается влияние этой величины на процесс сажеобразования. Максимальное значение дымности ОГ составляет 3,0 ед. по шкале Bosch при сочетании поздних УУОВ РМ и

этанолом $\Theta_{PM}=30^{\circ}$ и $\Theta_{\text{э}}=22^{\circ}$. При подаче топлива в более поздних углах растёт доля топлива, сгорающего в диффузионном пламени, что вызывает повышение дымности ОГ.

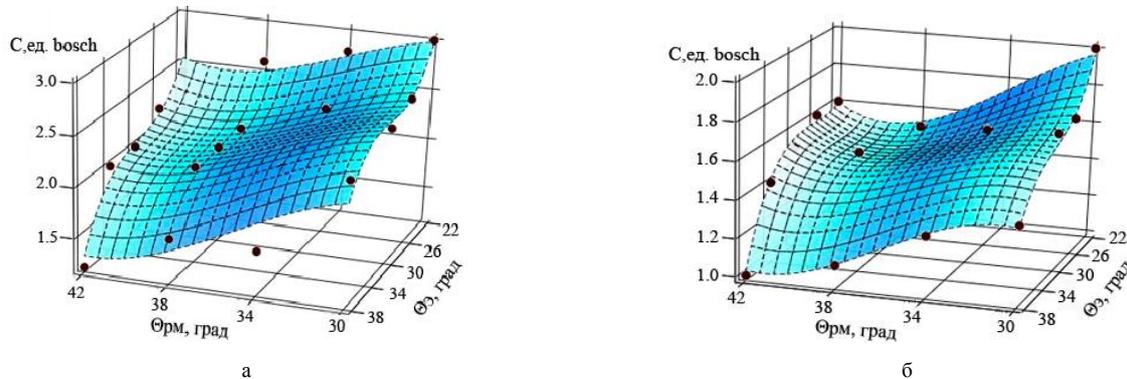


Рис. 2. Влияние применения этанола и запального РМ на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на этаноле и РМ при различных установочных УОВТ: а - при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e=0,588 \text{ МПа}$; б - при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ и $p_e=0,594 \text{ МПа}$

В режиме максимального крутящего момента при $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ сохраняются те же тенденции изменения дымности в зависимости от УУОВТ, что и при номинальном режиме работы двигателя (рисунок 2, б).

Минимальное значение дымности ОГ составляет 1,0 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{PM}=42^{\circ}$ и $\Theta_{\text{э}}=38^{\circ}$. С уменьшением УУОВ запального РМ дымность ОГ растёт и при $\Theta_{PM}=30^{\circ}$ принимает значение 1,4 ед. по шкале Bosch. Рост дымности вызывает и уменьшение УУОВ этанола до 1,6 ед. по шкале Bosch при $\Theta_{PM}=42^{\circ}$ и $\Theta_{\text{э}}=22^{\circ}$. Максимальное значение дымности ОГ при работе в режиме максимальной мощности составляет 2,0 ед. по шкале Bosch при сочетании УУОВ $\Theta_{PM}=30^{\circ}$ и $\Theta_{\text{э}}=22^{\circ}$.

Выводы.

В результате экспериментальных исследований было установлено существенное влияние установочных углов подачи топлива при сохранении постоянства закона подачи топлива. Несмотря на достаточно большую массовую долю кислорода в составе этанола, смещение УУОВ этанола и УУОВ РМ сопоставимо. Это связано с тем, что цикловая подача РМ была в 4 раза ниже цикловой подачи этанола.

Литература

1. Козлов, А. Н. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на рапсовом масле и этаноле с двойной системой топливоподачи: монография / А. Н. Козлов, В. А. Лиханов. – Киров: Вятская ГСХА, 2017. – 134 с.
2. Коротких, Ю. С. Экологический стандарт ЕВРО-6 в Европе и России / Ю. С. Коротких // Управление рисками в АПК. – 2016. – № 1. – С. 34-40.
3. Лиханов, В. А. Исследование процессов образования и выгорания сажи в цилиндре дизеля с турбонаддувом 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе: монография / В. А. Лиханов, В. Г. Мохнаткин, А. В. Россохин. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. – 124 с.
4. Лиханов, В. А. Сгорание и сажеобразование в цилиндре газодизеля / В. А. Лиханов. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. – 104 с.
5. Ложкин, В. Н. Исследование динамики и термических условий сажеобразования при сгорании распыленного топлива в цилиндре дизелей: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Ложкин. – Л., 1978. – 228 с.
6. Россохин, А. В. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем снижения дымности отработавших газов: дис. ... канд. техн. наук / А. В. Россохин. – Киров, 2006. – 178 с.

Сведения об авторах

1. **Лиханов Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133;
2. **Козлов Андрей Николаевич**, ассистент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: dnka59@mail.ru, телефон 8-909-131-94-39;
3. **Арасланов Марат Ильдарович**, ассистент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133.

DECREASE IN DIESEL ENGINE SMOKE WHEN USING RAPESEED OIL AND ETHANOL

V.A. Likhanov, A.N. Kozlov, M.I. Araslanov

Vyatka State Agricultural Academy
610017, Kirov, Russian Federation

Abstract. Today, the internal combustion engine is one of the main sources of harmful emissions into the environment. The smoke of the diesel engine adversely affects the environment and the operation of the diesel engine. A high content of soot in the exhaust gases of the diesel indicates large fuel consumption, problems with mixture formation in a cylinder or work on rich mixtures. The soot represents dispersed carbon unburned in the combustion chamber. On the surface of soot particles, hazardous substances and products of incomplete combustion accumulate. Among them there are carcinogens.

One of the most effective methods to reduce the smoke of exhaust gases of diesel engines is the use of alternative oxygenate fuels, among them alcohols and vegetable oils. Vegetable oils are highly flammable under diesel conditions and can be used as a fuel for alcohol. Maximum flow of alcohol into the combustion chamber allows you to intensively reduce the smoke of exhaust gases.

The article presents the results of a study of the operation of the diesel engine on ethanol and rapeseed oil at various installation angles of fuel injection advancing. It is established that the smoke opacity of the exhaust gases and the concentration of soot in the cylinder of a diesel engine reduce when shifting the angle of feed of ethanol and rapeseed oil at an earlier angles.

Key words: diesel, soot, exhaust gases, rapeseed oil, ethanol.

References

1. Kozlov, A. N. Snizhenie dymnosti otrabotavshih gazov dizelya 2CH 10,5/12,0 pri rabote na rapsovom masle i ehtanole s dvoynoy sistemoy top-livopodachi: monografiya / A. N. Kozlov, V. A. Likhanov. – Kirov: Vyatskaya GSKHA, 2017. – 134 p.
2. Korotkih, Yu. S. Ekologicheskij standart EVRO-6 v Evrope i Ros-sii / YU. S. Korotkih // Upravlenie riskami v APK. – 2016. – № 1. – P. 34-40.
3. Likhanov, V. A. Issledovanie processov obrazovaniya i vygoraniya sazhi v cilindre dizelya s turbonaddvom 4CHN 11,0/12,5 pri rabote na prirod-nom gaze: monografiya / V. A. Likhanov, V. G. Mohnatkin, A. V. Rossohin. – Kirov: Vyatskaya GSKHA, 2006. – 124 p.
4. Likhanov, V. A. Sgoranie i sazheobrazovanie v cilindre gazodizelya / V. A. Likhanov. – Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 2000. – 104 p.
5. Lozhkin, V. N. Issledovanie dinamiki i termicheskikh uslovij sa-zheobrazovaniya pri sgoranii raspylennogo topliva v cilindre dizelej: dis. ... kand. tekhn. nauk / V. N. Lozhkin. – L., 1978. – 228 p.
6. Rossohin, A. V. Uluchshenie ekologicheskikh pokazatelej dizelya 4CHN 11,0/12,5 pri rabote na prirodnom gaze putem snizheniya dymnosti otrabotav-shih gazov: dis. ... kand. tekhn. nauk / A. V. Rossohin. – Kirov, 2006. – 178 p.

Information about authors

1. **Likhanov Vitaly Anatolievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor. Vyatka State Agricultural Academy, Head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors; 610017, Kirov, October prospect, 133;
2. **Kozlov Andrey Nikolaevich**, Assistant of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy; 610017, Kirov, October prospect, 133; e-mail: dnka59@mail.ru; tel. 8-909-131-94-39;
3. **Araslanov Marat Ildarovich**, Assistant of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy; 610017, Kirov, October prospect, 133.

УДК 621.43

САЖЕСОДЕРЖАНИЕ В ДИЗЕЛЕ, РАБОТАЮЩЕМ НА СПИРТОВОМ ТОПЛИВЕ

В.А. Лиханов, О.П. Лопатин

Вятская государственная сельскохозяйственная академия
610017, Киров, Российская Федерация

Аннотация. В статье был рассмотрен механизм образования сажи в дизеле, работающем на этано-топливной эмульсии. Представлена схема сажеобразования в виде последовательных процессов разложения углеводородных видов топлива, образования активных углеродных частиц в пламени, роста ядер сажи, агрегации частиц и окисления сажи. Было доказано, что содержание сажи в отработавших газах дизеля, работающего на этано-топливной эмульсии, зависит от всех перечисленных процессов: структуры