

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 turbonadduvom 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 raspylenogo 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, агломерации частиц и окисления сажи. Было доказано, что содержание сажи в отработавших газах дизеля, работающего на этано-топливной эмульсии, зависит от всех перечисленных процессов: структуры

топливного факела, формы камеры сгорания, температуры пламени, а эти процессы, в свою очередь, – от особенностей конструкции дизеля и режимов его работы.

Ключевые слова: этанол, эмульсия, сажа, дизель, отработавшие газы.

Введение. Механизм образования сажи связан с большим числом химических реакций и очень сложен. В общем случае он представляет собой последовательность процессов разложения углеводородных видов топлива, образования активных углеродных частиц в пламени, роста ядер сажи, агломерации частиц и окисления сажи. Содержание сажи в отработавших газах (ОГ) дизеля зависит от всех перечисленных процессов, из которых наиболее изучен только последний. Как показали исследования, частицы углерода образуются в центральной зоне топливной струи, где содержание кислорода недостаточно [1, 5].

Содержание сажи в ОГ зависит от свойств топлива, структуры топливного факела, формы камеры сгорания, температуры пламени и является результатом протекания двух определяющих процессов – образования и окисления. Эти процессы, в свою очередь, зависят от особенностей конструкции двигателя и режимов его работы [2, 3].

Цель данной работы – исследование процесса сажесодержания в дизеле, работающем на этано-топливной эмульсии (ЭТЭ).

Материалы и методы. Исследования по теме были проведены в научно-исследовательской лаборатории кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской ГСХА. В процессе исследований применялась ЭТЭ следующего состава: дизельное топливо (ДТ) – 67,5 %, этиловый спирт – 25 %, вода – 7 %, присадка – 0,5 % [6, 7, 8].

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 представлен возможный химический процесс при образовании сажи в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ.

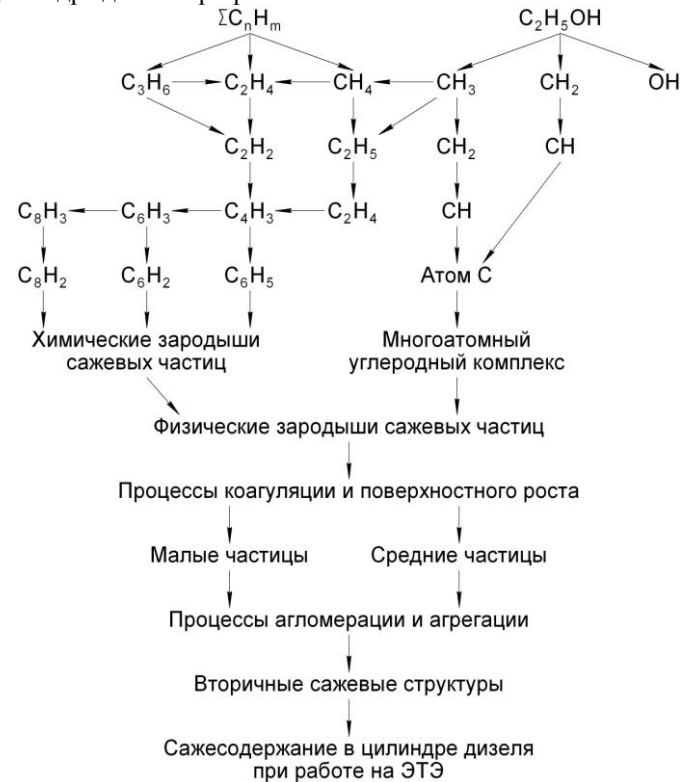


Рис. 1. Схема сажеобразования в цилиндре дизеля, работающего на ЭТЭ

Воспламенение топлива от сжатия в цилиндре дизеля носит сложный и многостадийный характер. Принято считать, что воспламенение перемешанных с воздухом углеводородов носит цепочно-тепловой характер. Скорость протекания подготовительных процессов зависит от склонности топлива к образованию активных частиц. При работе дизеля на ЭТЭ спирт и ДТ впрыскиваются в цилиндр одновременно. Пары спирта поджигаются пламенем ДТ, воспламенение которого происходит по традиционной схеме.

Поскольку сажа является метастабильным продуктом процесса горения, то нельзя исключать возможность существования нескольких путей перехода в это состояние в зависимости от условий реализации процесса горения. При работе дизеля на ЭТЭ основное количество сажи в составе ОГ образуется при сгорании ДТ.

Особенности образования сажи при сгорании ДТ в цилиндре детально рассмотрены в трудах многих российских и зарубежных ученых [8, 9]. Полагаем, что основными механизмами, оказывающими наибольшее влияние на процесс образования частиц сажи в цилиндре дизеля, являются низкотемпературный фенильный

механизм, преобладающий при температурах менее 1500 К, и высокотемпературный ацетиленовый механизм, который преобладает при температурах более 1500 К.

Этанол также существенно влияет на процессы горения, образования и окисления вредных веществ в цилиндре. Значительную роль играют особенности горения эмульгированных видов топлива и термическое разложение этанола с образованием значительного количества активных радикалов C_2H_5 и OH , которые способствуют интенсификации процессов горения.

Рассмотрим возможный механизм образования сажи из этанола. Этанол – представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. При сгорании этанола образуются углекислый газ и вода:

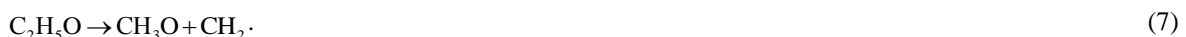
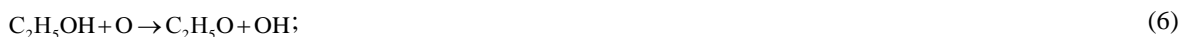


В цилиндре дизеля наблюдается значительная неоднородность заряда на всем протяжении процессов впрыска топлива, горения и расширения. Выделение в процессе сгорания твердого углерода в виде мелких сажевых частиц может происходить в результате пиролиза, а также окислительного крекинга молекул топлива в зонах сильно переобогащенной смеси при условии, что температуры в них достаточно высоки. Именно такие условия создаются в дизелях при горении капелек жидкого топлива, когда в одних зонах факела распыла местные значения состава смеси близки к стехиометрическим, и, соответственно, температуры пламени максимальны, в то время как в смежных зонах имеет место значительный недостаток кислорода. В таких условиях при распаде молекулы этанола возможно выделение углерода.

Спирты характеризуются более высокой активностью при горении по сравнению с углеводородами. Благодаря этому, горение протекает более устойчиво, а предел воспламенения смеси смещен в более бедную область. Основной причиной этого является диссоциация этанола в условиях высоких температур. Все это приводит к образованию активных радикалов, облегчающих начало цепной реакции и ускоряющих процесс окисления топлива. В интервале температур 1000...2600 К молекула этанола подвергается термическому распаду:



При окислении этанола происходит внедрение атомов кислорода между атомами углерода и водорода с образованием молекул, содержащих группу OH . Это явление ускоряет процессы окисления сажевых зародышей и предотвращает коагуляцию. Вероятны следующие направления реакций:



Далее окисление идет через последовательность реакций образования промежуточных продуктов, осуществляющих переход реагирующей системы от исходного состояния к конечным продуктам. Такими промежуточными продуктами могут быть перекиси, молекулы и их осколки с группой OH , атомы водорода и кислорода, свободные радикалы.

Затем из радикалов CH_3 , CH_2 , CH_3O последовательным дегидрированием образуется атомарный углерод С:



Радикалы CH_3 и OH могут вступать в реакцию с молекулой этанола:



Кроме того, радикалы OH участвуют также в реакциях с радикалами углеводородов, в результате которых образуется молекула воды:



На следующем этапе в результате промежуточных реакций происходит термическое разложение углеводородов с образованием ацетилена C_2H_2 :



Затем происходит термическое разложение ацетилена, что приводит к образованию радикалов-зародышей C_2H . Данные радикалы в дальнейшем могут окисляться с образованием атомарного углерода и воды:



Далее молекулы воды, образовавшиеся в результате химических реакций, и введенные в цилиндр вместе с топливом, участвуют в окислении сажевых частиц. Молекулы водорода H_2 , образовавшиеся в ходе реакций, могут вызывать торможение процесса поверхностного роста частиц углерода. Торможение объясняется активной адсорбцией молекул H_2 , что препятствует контакту поверхности с молекулами углеводорода.

После образования физических зародышей происходит коагуляция первичных сажевых частиц, сопровождающаяся гетерогенным процессом поверхностного роста частиц до характерных размеров 10...30 нм. Подавляющая часть массы частиц сажи (> 95 %) образуется за счет поверхностного роста, а не за счет процесса образования зародышей. Процесс коагуляции заключается в столкновении двух частиц, которые затем «слипаются» друг с другом с образованием общей внешней оболочки. Химический процесс роста частиц связан с разложением молекул углеводородов и радикалов на поверхности частицы. При быстром охлаждении часть высокомолекулярных углеводородов, образовавшихся при распаде молекул ДТ, не успевает пройти все стадии превращений и адсорбируется поверхностью сажевых частиц, что определяет канцерогенную опасность сажи.

Одновременно с образованием сажевых частиц происходит их выгорание. В общем случае горение углерода – сложный многостадийный нестационарный гетерогенный процесс реагирования на внешней и внутренней поверхности неоднородной углеродной частицы, определяемый как кинетикой химических реакций, так и встречной диффузией окислителя и продуктов реакций. Процесс выгорания частиц сажи ведет к уменьшению их размеров и массового выхода в целом.

Выгорание сажи при сжигании углеводородных видов топлива принято рассматривать как совокупность процессов ее газификации за счет взаимодействия с углекислым газом и парами воды и окисления за счет химической реакции со свободным кислородом. Все три реагента целесообразно рассматривать как окислители, а сажу – как горючее.

Скорость выгорания частиц сажи определяется подводом окислителя к поверхности частицы за счет его ламинарной или турбулентной диффузии, а также скоростью химической реакции окисления или газификации. В соответствии со скоростью этих двух процессов устанавливается суммарная скорость выгорания частицы сажи при определенном уровне концентрации окислителя на ее поверхности. Горение частиц в зависимости от свойств окружающей их среды определяется либо совместным влиянием диффузии окислителя к поверхности частицы и кинетики химической реакции на поверхности частицы, либо одним из этих факторов: диффузией или кинетикой. При малых размерах частиц, характерных для сажи, скорость выгорания зависит, прежде всего, от скоростей протекания химических реакций. Установлено, что скорость окисления сажи (реакция с кислородом) на несколько порядков превосходит скорость реакций ее газификации. Поэтому, если в окружающей газовой среде имеются все три окислителя, основную роль в выгорании сажи играет химическое взаимодействие с кислородом, а в отсутствие свободного кислорода (горение богатых углеводородо-воздушных смесей), определяющими становятся реакции газификации.

Реакции углерода с кислородом:



Эти две реакции принято называть первичными при горении углерода. У поверхности горячей углеродной частицы возможно взаимодействие образовавшейся окиси углерода с диффундирующим из объема кислородом:



Реакции взаимодействия с парами воды:



Взаимодействие с двуокисью углерода:



При работе на ЭТЭ существенную роль в процессе окисления частиц сажи играет реакция взаимодействия с парами воды. Это обусловлено тем, что вода является одним из компонентов эмульсии и образуется в результате химических реакций при распаде молекул спирта.

Выводы

При работе на ЭТЭ вероятность образования частиц сажи из этанола сравнительно мала, что связано с особенностями горения эмульгированных видов топлива. Повышенная эффективность процесса горения эмульсии обусловлена «микровзрывом» ее капель вследствие различия температур кипения этанола и ДТ. При дополнительном дроблении капель эмульсии увеличивается скорость их испарения и улучшается перемешивание топлива с воздухом, при этом процесс сгорания существенно интенсифицируется. В результате происходит преимущественное окисление углеродных комплексов сажи и снижение сажесодержания в ОГ.

Литература

1. Лиханов, В. А. Исследование рабочего процесса дизеля 4Ч 11,0/12,5 с камерой сгорания типа ЦНИДИ при работе на этаноле-топливной эмульсии: монография / В. А. Лиханов, А. И. Чупраков. – Киров: Вятская

ГСХА, 2012. – 156 с.

2. Лиханов, В. А. Снижение дымности отработавших газов дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этаноло-топливных эмульсий: монография / В. А. Лиханов, И. М. Шаромов – Киров: Вятская ГСХА, 2012. – 144 с.

3. Alcohol-Diesel Fuel Combustion in the Compression Ignition Engine / W. Titak [et al.] // Fuel. – 2015. – V. 154. – P. 196-206.

4. Diesel-to-natural gas engine conversion with lower compression ratio / G.G. Ter-Mkrtichyan [et al.] // Pollution Research. – 2017. – V. 36. – № 3. – P. 678-683.

5. Han, K. Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet / K. Han, B. Yang, C. Zhao // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2016. – V. 70. – P. 381-388.

6. Likhanov, V. A. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas / V. A. Likhanov, O.P. Lopatin // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. – V.13. – № 5. – P.2936-2939.

7. Likhanov, V.A. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine / V.A. Likhanov, O. P. Lopatin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V.13. – № 3. – P. 1703-1709.

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

9. Markov, V. A. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V. A. Markov, S. S. Loboda, V. G. Kamaltdinov // Procedia Engineering. Ser. 2. International Conference on Industrial Engineering. «ICIE 2016». – 2016. – P. 225-234.

Сведения об авторах

1. **Лиханов Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133;

2. **Лопатин Олег Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Киров, Октябрьский проспект, 133.

CARBON BLACK IN A DIESEL ENGINE RUNNING ON ALCOHOL FUEL

V.A. Likhanov, O.P. Lopatin

*Vyatka State Agricultural Academy
610017, Kirov, Russian Federation*

Abstract. *The mechanism of carbon black formation in diesel engine running on ethanol-fuel emulsion is considered. The scheme of carbon black formation in the form of a sequence of processes of decomposition of hydrocarbon fuels, formation of active carbon particles in the flame, growth of carbon black nuclei, particle agglomeration and carbon black oxidation is presented. It is shown that the carbon black content in the exhaust gases of a diesel engine operating on an ethanol-fuel emulsion depends on all of the above processes: the structure of the fuel torch, the shape of the combustion chamber, the flame temperature, and these processes, in turn, depend on the design features of the diesel engine and its operating modes.*

Key words: *ethanol, emulsion, carbon black, diesel, exhaust gases.*

References

1. Likhanov, V. A. Issledovanie rabocheho processa dizelya 4CH 11,0/12,5 s kameroj sgoraniya tipa CNIDI pri rabote na ehtanolo-toplivnoj ehmul'sii: monografiya / V. A. Likhanov, A. I. Chuprakov. – Kirov: Vyatskaya GSKHA, 2012. – 156 p.

2. Likhanov, V. A. Snizhenie dymnosti otrabotavshih gazov dizelya 4CH 11,0/12,5 putem primeneniya ehtanolo-toplivnyh emul'sij: monografiya / V. A. Likhanov, I. M. Sharomov – Kirov: Vyatskaya GSKHA, 2012. – 144 s.

3. Alcohol-Diesel Fuel Combustion in the Compression Ignition Engine / W. Titak [et al.] // Fuel. – 2015. – V. 154. – P. 196-206.

4. Diesel-to-natural gas engine conversion with lower-compression ratio / G.G. Ter-Mkrtichyan [et al.] // Pollution Research. – 2017. – V. 36. – № 3. – P. 678-683.

5. Han, K. Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet / K. Han, B. Yang, C. Zhao // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2016. – V. 70. – P. 381-388.

6. Likhanov, V. A. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas / V. A. Likhanov, O.P. Lopatin // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. – V.13. – № 5. – P.2936-2939.

7. Likhanov, V.A. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine / V.A. Likhanov, O. P. Lopatin // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. –V.13. – № 3. –P. 1703-1709.
8. Likhanov, V. A. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants / V. A. Likhanov, O. P. Lopatin // Thermal Engineering. – 2017. – V.64. – № 12. – P.935 – 944.
9. Markov, V. A. Optimization of diesel fuel and corn oil mixtures composition / V. A. Markov, S. S. Loboda, V. G. Kamaltdinov // Procedia Engineering. Ser. 2. International Conference on Industrial Engineering. «ICIE 2016». – 2016. – P. 225-234.

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, Russian Federation, 610017, Kirov, October prospect, 133;
2. **Lopatin Oleg Petrovich**, Candidate of technical Sciences, Associate Professor of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, Russian Federation, 610017, Kirov, October prospect, 133.

УДК 621.436

ЭТАНОЛО-ТОПЛИВНЫЕ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

В.А. Лиханов, О.П. Лопатин

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

Аннотация. В работе была обоснована необходимость использования этанола-топливных эмульсий как экологических энергоносителей для тракторных дизелей. С целью разработки, определения и оптимизации состава этанола-топливных эмульсий для тракторного дизеля были проведены испытания его работы на дизельном топливе и этанола-топливных эмульсиях. С помощью экспериментальных исследований было установлено, что для применения в тракторном дизеле экологических энергоносителей, созданные на основе смеси с этиловым спиртом, целесообразно использовать эмульсии следующего состава: этанол C_2H_5OH – 25,0 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7,0 %, дизельное топливо – 67,5 %.

В целях улучшения экологических показателей тракторного дизеля путем применения этанола-топливных эмульсий было предложено перспективное решение, позволяющее снизить содержание в отработавших газах оксидов азота на 50,2 %, сажи – в 5,2 раза, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода – на 25,0 %, при этом экономия нефтяного моторного топлива в этом случае составляет 32,5 %.

Ключевые слова: биотопливо, спирт, этанол, эмульсия, дизель, токсичность, отработавшие газы.

Введение. Необходимость защиты атмосферного воздуха от вредных выбросов растет год от года. В настоящее время во многих регионах страны сложилась крайне негативная экологическая обстановка, обусловленная тем, что масштабы хозяйственной деятельности человека приводят к существенному превышению допустимых нагрузок воздействия на природные объекты, а восстановление нарушенных геосистем проходит крайне медленно. Поэтому проблема снижения загрязненности атмосферы стала актуальной не только для отдельных государств, но и для целых континентов, то есть приобрела международный характер [2].

Опыт решения экологических проблем во всем мире позволил выработать основные пути их решения. Так, ведутся разработки различных средств и систем снижения токсичности отработавших газов (ОГ) энергоустановок [3]. Для снижения токсичности изменяют определенные свойства и качества применяемых видов топлива [4] и, конечно же, используют альтернативное моторное топливо [5].

В настоящее время более 20 стран мира производят жидкое биотопливо из различного растительного сырья. Например, спирты, эфиры, различные растительные масла и продукты их переработки, синтетическое биотопливо, биогазы. В настоящее время спирты являются, пожалуй, одними из самых перспективных видов топлива не нефтяного происхождения, которые используют в тракторных дизелях. Имеются обширные ресурсы, которые применяют для производства спирта. Его получают из биомассы, различных отходов, бытового мусора, бумаги. Его использование в качестве моторного топлива позволяет не только снизить потребность в нефтяном топливе, дефицит которого ощущается уже сегодня, но и решает проблему снижения выбросов частиц сажи и других токсичных компонентов ОГ энергоустановок. Кроме того, создание топлива из органических компонентов позволит отрасли растениеводства производить экологически чистые виды моторного топлива из возобновляемых энергетических источников [1].