

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ДИЗЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВАХ НА ОСНОВЕ МЕТИЛОВОГО СПИРТА

д.т.н. Лиханов В.А., к.т.н. Лопатин О.П.

Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Россия

nirs_vsaa@mail.ru

В работе обоснована необходимость использования биотоплив на основе метилового спирта в дизельных двигателях. При этом исследованы такие экологичные источники энергии как метанол и метиловый эфир рапсового масла. Представлены физико-химические свойства указанных видов биотоплива. В целях разработки, определения и оптимизации состава экологичных видов биотоплива для дизельных двигателей проведены их испытания при работе на метаноле с метиловым эфиром рапсового масла и метаноле-топливной эмульсии. Экспериментальным путем установлено, что применение экологичного биотоплива в дизелях возможно в виде спирто-топливных эмульсий (метиловый спирт – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %) и в виде раздельной подачи метилового спирта (88 %) и метилового эфира рапсового масла (12 %). При использовании метанола как биотоплива для дизелей, можно значительно снизить выбросы сажевых частиц и оксидов азота вследствие того, что при горении спирта в камере сгорания дизеля образуется меньше промежуточных продуктов (по отношению к дизельному топливу), способствующих зарождению ацетиленовых и ароматических углеводородов, которые и приводят к образованию сажи. Метиловый спирт со своей более простой структурой и незначительными размерами молекул является одним из определяющих факторов более «чистого сгорания» топлива. Проведены экспериментальные исследования дизельных двигателей на экологичных видах биотоплива вышеуказанных составов и обосновано перспективное решение улучшения их экологических показателей. При работе дизеля на метаноле-топливной эмульсии происходит снижение содержания в отработавших газах оксидов азота на 41,3 %, сажи на 85,5 %, диоксида углерода на 6,7 %, оксида углерода на 45,0 %; при работе на метаноле и метиловом эфире рапсового масла оксидов азота на 47,4 %, сажи на 90,4 %, оксида углерода на 44,8 %.

Ключевые слова: дизель, биотопливо, метанол, эмульсия, рапсовое масло, токсичность, отработавшие газы.

Введение

Хорошо известно, что для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) 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 ДВС являются наиболее приоритетными, при этом экологичность отработавших газов (ОГ) производители уже закладывают в их конструкцию на стадии проектирования, причем она не должна ухудшаться в процессе эксплуатации. Следовательно, несложно предположить, что будущее за экологически чистыми ДВС, работающими на альтернативных нефтяному видах топлива. Все более широкое распространение получают альтернативные виды биотоплива

на основе спиртов и растительных масел (рапсового, подсолнечного, соевого, арахисового, пальмового), а также их производных. Интенсивные работы по переводу ДВС 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].

Наиболее исследованными и перспективными на сегодняшний день для применения в ДВС являются одноатомные первичные спирты, такие как метанол (CH_3OH). Среди положительных свойств метанола для применения в дизелях можно отметить наличие в его молекуле атома кислорода, что даст возможность использовать метанол в качестве окси-

генатов (кислородсодержащих компонентов), способствующих снижению вредных выбросов сажи и СО в продуктах его сгорания. Метанол широко используется в химической промышленности, и немалые его объемы применяются в производстве топлив для автотранспорта. Применение этого спирта в качестве альтернативного биотоплива для ДВС стало возможным в результате получения его доступным способом из сельскохозяйственных и пищевых отходов, из газообразного топлива. Но более важная причина в применении метанола – это снижение выбросов токсичных компонентов с ОГ ДВС (рис. 1) [2].

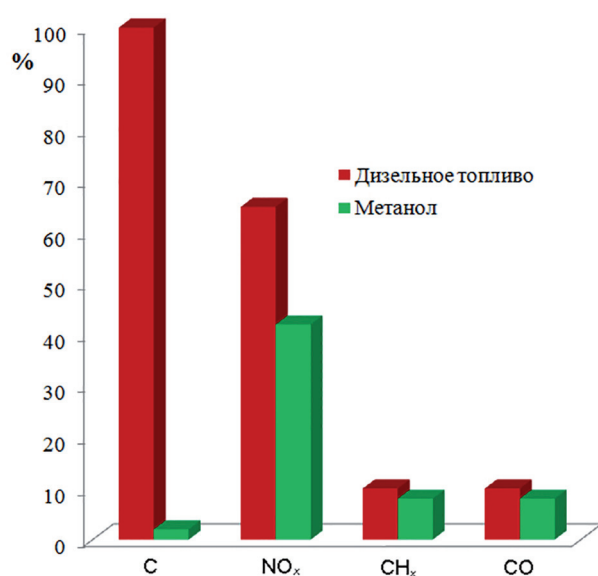


Рис. 1. Относительное содержание вредных веществ в ОГ автотранспорта, работающего на дизельном топливе и метаноле, % (за 100 % принято дизельное топливо по саже)

При использовании метанола 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 промежуточных продуктов (по отношению к дизельному топливу), способствующих зарождению ацилиновых и ароматических углеводородов, которые и приводят к образованию сажи. Кроме того, в ОГ при сгорании метанола значительно меньше различных соединений серы. Метиловый спирт со своей более простой структурой и незначительными размерами молекул является одним из определяющих факторов более «чистого сгорания» топлива.

Из всех существующих альтернативных видов топлива достаточно перспективными

являются биотоплива и их смеси с дизельным топливом в разных пропорциях (растительно-минеральные смеси), а сельскохозяйственные предприятия, потребляющие в качестве топлива главным образом нефтепродукты, в настоящее время вполне способны производить как для городского автотранспорта, так и для своей техники экологически чистое возобновляемое биотопливо. Произведенные расчеты [2] показывают, что энергозатраты на получение рапсовых семян составляют 17700 МДж/кг, на получение масла – 700 МДж/кг, при этом энергия, получаемая от масла – 22200 МДж/кг. В связи с вышесказанным, можно сделать вывод, что энергетическая прибыль с одного гектара посева рапса составляет 3800 МДж (что соответствует 110 л нефтяного дизельного топлива по своей энергетической ценности) [2].

Растительное масло любого вида – это смесь триглицеридов, т.е. эфиров, соединенных с молекулой глицерина. Глицерин, в свою очередь, и придает вязкость и плотность растительному маслу. Таким образом, основной задачей при получении биотоплива является удаление глицерина путем замещения его на спирт. На данный момент альтернативные виды топлива из рапсового масла находят применение в натуральном виде, в виде метилового и диметилового эфиров рапсового масла. Метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ) можно охарактеризовать более низким уровнем коксования деталей дизелей, чем этиловый эфир рапсового масла из-за более низкой вязкости и молекулярной массы. К тому же, метиловые эфиры лучше сохраняются. К преимуществам этиловых эфиров можно отнести снижение дымности и температуры ОГ и меньшую агрессивность к деталям двигателя. В дальнейшем процессе производства этиловые эфиры менее вредны, но при очистке биотоплива с целью удаления излишков спирта возникают некоторые сложности, поскольку этиловый спирт формирует устойчивую водную эмульсию. В связи с этим из-за более низкой себестоимости метанола производство МЭРМ более рентабельное. Поэтому МЭРМ, как альтернативное экологичное биотопливо, приобретает наибольшую популярность в странах Европы [3].

По сравнению с другими альтернативными видами топлива стоимость метанола невысока, а одним из его недостатков является большая теплота испарения при низкой температу-

ре 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. Поэтому воспламенение метанола в таких условиях возможно с помощью дополнительно установленных источников воспламенения, подачи метанола на впуске или при использовании различных катализаторов, которые способствуют снижению температуры воспламенения метанола, а также ускоряют процесс реакций горения. К еще одному эффективному способу воспламенения метанола в камере сгорания дизеля можно отнести подачу запальной порции штатного дизельного топлива в камеру сгорания. С целью улучшения воспламенения спиртов используют двойные системы топливоподачи, которые одновременно с подачей спирта (основного биотоплива) осуществляют и подачу запальной порции дизельного топлива [2].

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, таких как 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) [4].

Так, представленные данные таблицы 1 наглядно демонстрируют схожесть параметров биотоплива с дизельным топливом по плот-

ности и расхождение по кинематической вязкости, низшей теплоте сгорания и цетановому числу. Естественно, все это говорит о том, что в чистом виде один вид биотоплива сложно применить в дизеле, поэтому и было принято решение о применении биотоплива в формате МТЭ и МЭРМ в сочетании с метанолом, что позволяет приблизить значения физико-химических свойств биотоплива к штатному дизельному топливу.

Цель исследования

Целью данной работы является применение экологических видов биотоплива в дизелях для улучшения их экологических показателей и экономии нефтяного моторного топлива.

Методы и средства

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 отработавших газов производился газозаборниками автоматической системы газового анализа (АСГА-Т), установленными в выпускном трубопроводе дизеля. Дымность отработавших газов измерялась с помощью дымомера «BOSCH-EFAW-68A». При работе на метаноле и МЭРМ дизель оборудовался двойной системой топливоподачи. При этом воспламенение метанола осуществлялось за счет подачи запальной порции МЭРМ. Такая схема топливоподачи полностью исключает необходимость использования нефтяного дизельного топлива.

Таблица 1

Физико-химические характеристики биотоплива и дизельного топлива

Параметр	Метанол	Рапсовое масло	МЭРМ	Дизельное топливо
Плотность при 20°C, кг/м ³	795	877	860–900	863
Кинематическая вязкость при 20°C, мм ² /с	0,55	80	12	3,0–6,0
Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	19,7	36,7	37,2	42,5
Цетановое число	3	44	51	45

Запуск и прогрев дизеля происходил на МЭРМ, вслед за этим осуществлялась подача метанола, а подача МЭРМ снижалась до начала пропусков воспламенения. Затем для достижения устойчивой работы двигателя ее увеличивали. Таким образом, при использовании метанола и МЭРМ с двойной системой топливоподачи достигалось полное замещение нефтяного дизельного топлива [2, 5].

Результаты и обсуждение

При испытаниях дизеля на спиртовой эмульсии использовался следующий состав: метанол – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %. Также для дизеля было разработано экологичное биотопливо, состоящее из метанола (88 %) и МЭРМ (12 %) [2, 6, 7].

На рис. 2 представлены экологические показатели дизеля, работающего на метано-

топливной эмульсии (МТЭ), от установочного угла опережения впрыскивания топлива ($\Theta_{впр}$).

Анализируя графики токсичности и дымности ОГ дизеля при работе на МТЭ как при номинальном скоростном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, рис. 2, а), так и на режиме, соответствующем максимальному хрутящему моменту ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, рис. 2, б), видно, что происходит снижение содержания на всех исследуемых значениях $\Theta_{впр}$ сажи С, CO_2 и СО (кроме $\Theta_{впр} = 29^\circ$). Результаты исследований экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 сведены в таблицу 2.

На рис. 3 представлена зависимость выбросов NO_x дизеля, работающего на метаноле и МЭРМ при различных сочетаниях установочных углов опережения впрыскивания топлива.

При анализе рис. 3, а на номинальной частоте вращения ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$) видно, что на оптимальном установочном угле подачи метанола ($\Theta_{впр \text{ мет}} = 34^\circ$ поворота коленчатого

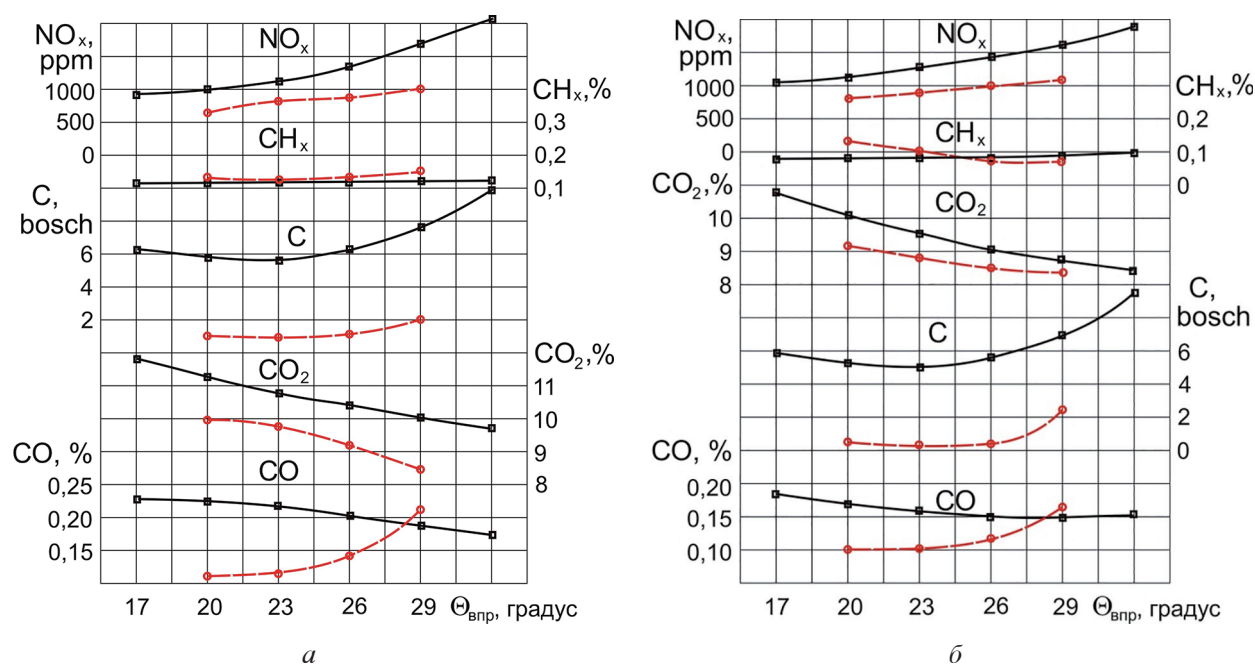


Рис. 2. Изменение экологических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения $\Theta_{впр}$: а – $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; б – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$; — — — — ДП; - - - - - МТЭ

Таблица 2

Результаты исследований экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 на номинальном режиме работы ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели			
	NO_x , ppm	C, Bosch	CO_2 , %	CO, %
Дизельное	1320	6,2	10,5	0,20
МТЭ	775 (снижение на 41,3 %)	0,9 (снижение на 85,5 %)	9,8 (снижение на 6,7 %)	0,11 (снижение на 45,0 %)

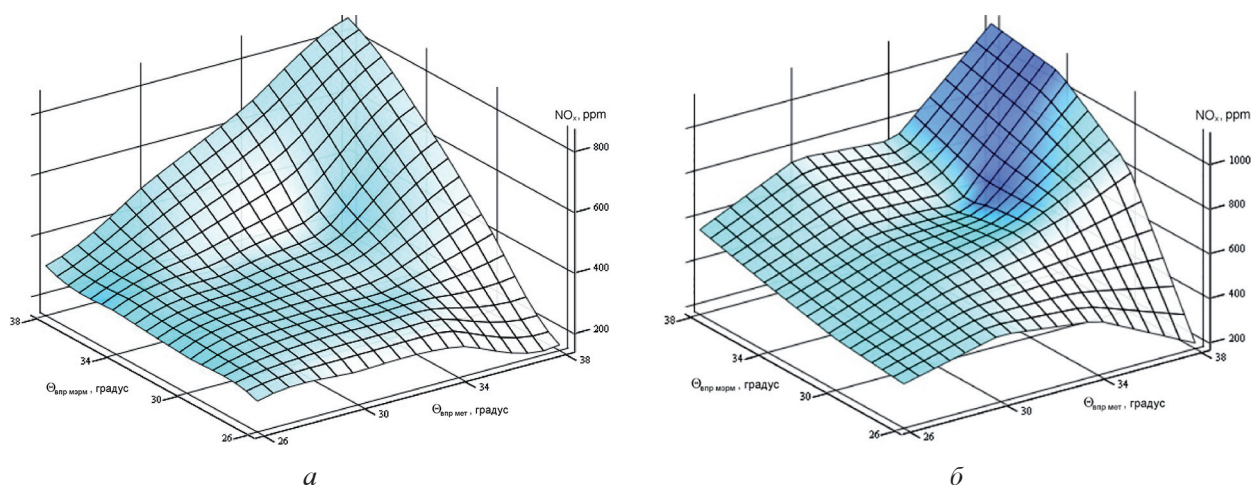


Рис. 3. Концентрация NO_x в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0, работающего на метаноле и МЭРМ, в зависимости от изменения $\Theta_{\text{впр}} :$
 $a - n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; $b - n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

вала и на аналогичных сочетаниях углов опережения впрыскивания МЭРМ ($\Theta_{\text{впр мэрм}}$) значения NO_x снижаются и составляют соответственно 655, 401, 316 и 243 ppm. При дальнейшем снижении $\Theta_{\text{впр мет}}$ до 30° выбросы NO_x составляют 486, 335, 311, и 250 ppm при $\Theta_{\text{впр мэрм}}$ равном 38° , 34° , 30° и 26° соответственно. Более поздняя подача метанола $\Theta_{\text{впр мет}}$ равная 26° ведет к снижению выбросов NO_x до 305, 280, 260 и 242 ppm при соответствующих установочных углах подачи $\Theta_{\text{впр мэрм}}$, равных 38° , 34° , 30° и 26° .

При рассмотрении зависимости выбросов NO_x на режиме максимального крутящего момента (рис. 3, б) хорошо видна аналогичная тенденция роста значений оксидов азота при более ранней подаче топлив. Так, при $\Theta_{\text{впр мет}} = 38^\circ$ наблюдается максимум выбросов NO_x , равный 1117 ppm, достигается который при $\Theta_{\text{впр мэрм}} = 38^\circ$. При других значениях $\Theta_{\text{впр мэрм}}$, равных 34° , 30° и 26° , величина выбросов NO_x составляет 1070, 830 и 194 ppm соответственно. При оптимальном значении $\Theta_{\text{впр мет}} = 34^\circ$ и вариациях $\Theta_{\text{впр мэрм}}$, равных 38° , 34° , 30° и 26° выбросы NO_x составляют соответственно 715, 582, 650 и 413 ppm. Дальнейшее снижение $\Theta_{\text{впр мет}}$ до 30° на аналогичных сочетаниях углов $\Theta_{\text{впр мет}}$ (38° , 34° , 30° и 26°) характеризует выбросы оксидов азота следующими величинами 750, 600, 551 и 470 ppm соответственно. Более поздняя подача метанола $\Theta_{\text{впр мет}} = 26^\circ$ ведет к снижению оксидов азота при всех исследуемых значениях $\Theta_{\text{впр мэрм}}$ (38° , 34° , 30° и 26°) и составляет соответственно 550, 472, 400 и 368 ppm.

На рис. 4 представлены зависимости от нагрузки экологических показателей работы

дизеля, работающего на метаноле и МЭРМ с двойной системой топливоподачи.

При анализе графиков токсичности и дымности ОГ дизеля на номинальном скоростном режиме ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, рис. 4, а) при работе на метаноле с МЭРМ видно, что происходит снижение содержания во всем диапазоне исследования нагрузки. Применение метанола и МЭРМ приводит к снижению оксида углерода СО при нагрузке, превышающей 0,47 МПа, и суммарных углеводородов CH_x на максимальных нагрузках при $p_e > 0,60 \text{ МПа}$, при этом отмечен незначительный рост диоксида углерода CO_2 во всем диапазоне исследования p_e . Рассматривая же режим максимального крутящего момента ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$, рис. 4, б), необходимо отметить, что применение метанола и МЭРМ приводит к снижению в ОГ сажи, CO_2 , NO_x (кроме максимального значения $p_e = 0,69 \text{ МПа}$) и СО при $p_e > 0,55 \text{ МПа}$, при этом отмечен рост CH_x .

Результаты исследований экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 сведены в таблицу 3.

Выводы

Дано перспективное решение улучшения экологических показателей дизелей, работающих на биотопливе следующих составов:

МТЭ: метанол – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %; метанол – 88 %, МЭРМ – 12 %.

При работе дизеля на МТЭ происходит снижение содержания в ОГ оксидов азота на 41,3 %,

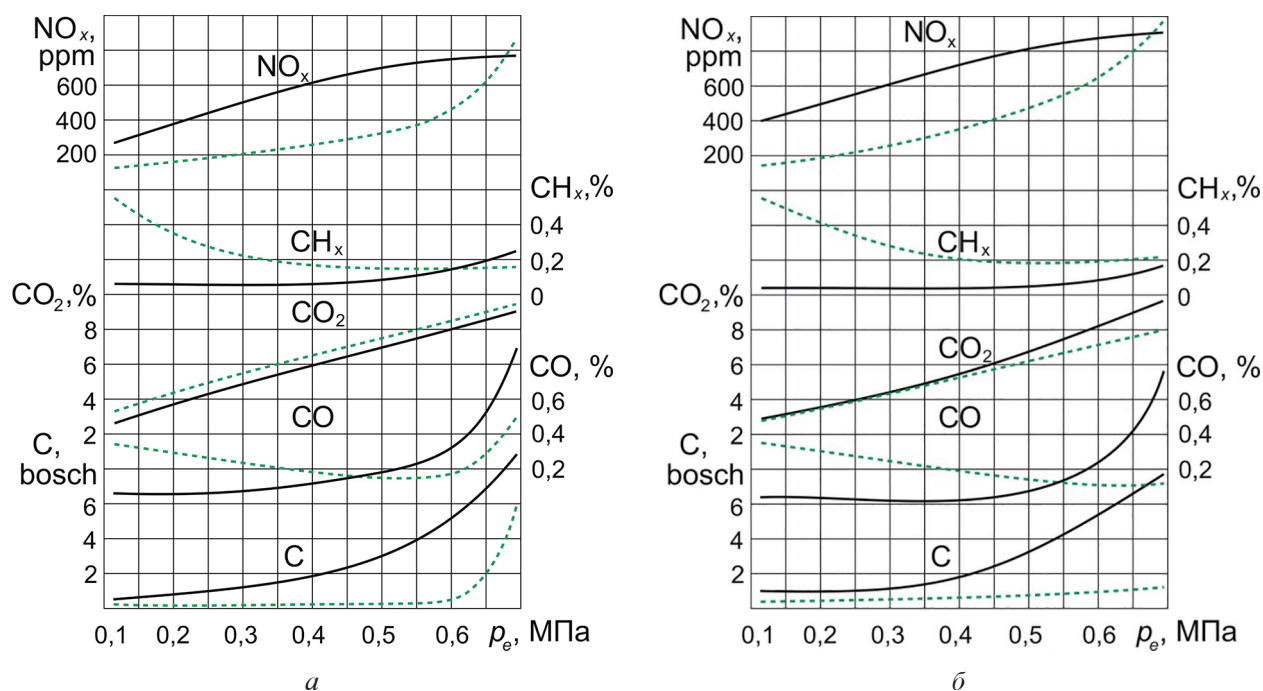


Рис. 4. Изменение экологических показателей работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки (p_e):
 $a - n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; $b - n = 1400 \text{ мин}^{-1}$; — — — — ДП; - - - - метанол и МЭРМ

Таблица 3

Результаты исследований экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 на номинальном режиме работы ($n = 1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,59 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели		
	NO_x , ppm	C, Bosch	CO, %
Дизельное	760	5,0	0,29
Метанол 88 %, МЭРМ 12 %	400 (снижение на 47,4 %)	0,48 (снижение на 90,4 %)	0,16 (снижение на 44,8 %)

сажи на 85,5 %, диоксида углерода на 6,7 %, оксида углерода на 45,0 %; при работе на метаноле и МЭРМ – оксидов азота на 47,4 %, сажи на 90,4 %, оксида углерода на 44,8 %.

Литература

- 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. V. 116. P. 518–526.
- Лиханов В.А., Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Применение метанола и метилового эфира рапсового масла для работы дизеля 2Ч 10,5/12,0. Киров: Вятская ГСХА, 2017. – 226 с.
- 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. V. 15. № 3. P. 161–168.
- Presser C., Nazarian A., Millo A. Laser-driven calorimetry measurements of petroleum and biodiesel fuels // Fuel. 2018. V. 214. P. 656–666.
- 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. V. 64. № 12. P. 935–944.
- Likhanov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. V. 13. № 3. P. 1703–1709.
- Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.

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. V. 116. P. 518–526.
2. Likhanov V.A., Kopchikov V.N., Fominykh A.V. *Primeneniye metanola i metilovogo efira rapsoвого masla dlya raboty dizelya 2Ch 10,5/12,0.* – Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2017. 226 p. (in Russian)
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. V. 15. № 3. P. 161–168
4. Presser C., Nazarian A., Millo A. Laser-driven calorimetry measurements of petroleum and biodiesel fuels // *Fuel*. 2018. V. 214. P. 656–666.
5. 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. V. 64. № 12. P. 935–944.
6. Likhanov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 3. P. 1703–1709.
7. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.

THE TOXICITY STUDY OF DIESEL ENGINES WORKING ON BIOFUELS BASED ON METHYL ALCOHOL

Dr.Eng. **V.A. Lihanov**, Ph.D. **O.P. Lopatin**
Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia
nirs_vsaa@mail.ru

The paper substantiates the need for the use of biofuels based on methyl alcohol in diesel engines. At the same time, such environmentally friendly energy sources as methanol and methyl ether of rapeseed oil were investigated. The physical and chemical properties of these biofuels are presented. In order to develop, determine and optimize the composition of environmentally friendly biofuels for diesel engines, their tests were carried out when working on methanol with methyl ether of rapeseed oil and methanol-fuel emulsion. It was experimentally established that the use of environmentally friendly biofuels in diesel engines is possible in the form of alcohol-fuel emulsions (methyl alcohol – 25 %, detergent-dispersing additive succinimide C-5A – 0,5 %, water – 7 %, diesel fuel – 67,5 %) and in the form of a separate supply of methyl alcohol (88%) and methyl ether of rapeseed oil (12 %). When using methanol as a biofuel for diesel engines, it is possible to significantly reduce the emissions of soot particles and nitrogen oxides due to the fact that during the combustion of alcohol in the combustion chamber of diesel, less intermediate products (in relation to diesel fuel) are formed, contributing to the birth of acetylene and aromatic hydrocarbons, which lead to the formation of soot. Methyl alcohol, with its simpler structure and small molecule sizes, is one of the determining factors for more "pure combustion" of fuel. Experimental studies of diesel engines on environmentally friendly biofuels of the above compositions were carried out and a promising solution to improve their environmental performance was justified. When the diesel engine is working on a methanol-fuel emulsion, the content of nitrogen oxides in the exhaust gases is reduced by 41,3 %, carbon black by 85,5%, carbon dioxide by 6,7 %, carbon monoxide by 45,0 %; when working on methanol and methyl ether of rapeseed oil, nitrogen oxides by 47,4 %, carbon black by 90,4 %, carbon oxide by 44,8 %.

Keywords: diesel, biofuel, methanol, emulsion, rapeseed oil, toxicity, exhaust gases.