

УДК 621.43

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА НА ДЫМНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Юрлов А.С., кандидат технических наук, доцент

E-mail: amadeus_92@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет»,
г. Киров, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние применения метанола на различных частотах вращения и нагрузках на дымность и содержание других токсичных компонентов в отработавших газов дизельных двигателей при различных способах его подачи в цилиндры. Исследованы: подача метанола на впуске (фумигирование), в виде метанола-топливной эмульсии, непосредственно в цилиндры дизельного двигателя. Установлено, что применение метанола снижает дымность отработавших газов дизельных двигателей по сравнению с работой на дизельном топливе на всех скоростных и нагрузочных режимах. В зависимости от способа подачи снижение дымности может достигать двух и более раз, поскольку метанол при горении не образует сажи и в этом случае можно достичь максимального результата.

Ключевые слова: дизельный двигатель, метанол, дымность, отработавшие газы, скоростные, нагрузочные режимы.

THE EFFECT OF USING METHANOL ON THE SMOKINESS OF THE DIESEL ENGINES EXHAUST GASES

Yurlov A.S., candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: amadeus_92@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia

Annotation. The article considers the influence of the methanol use at different rotational speeds and loads on the smokiness and the content of other toxic components in the diesel engines exhaust gases with various methods of its supply to the cylinders. The author examines the methanol supply at the intake (fumigation) in the form of the methanol-fuel emulsion directly into the diesel engine cylinders. It has been found out that the methanol use reduces the smokiness of the diesel engines exhaust gases compared to diesel fuel operation at all speed and load modes. Depending on the fuel practice, the reduction in smoke content can reach two or more times, since methanol does not form soot during combustion and in this case, the maximum results can be achieved.



Keywords: diesel engine, methanol, smokiness, exhaust gases, high-speed, load, modes.

Применением метанола, в том или ином виде или различными способами, в дизелях можно обеспечить существенное снижение дымности их отработавших газов (ОГ) [1-8]. Причем чем больше доля спирта, используемая в качестве топлива, тем меньше дымность ОГ дизеля.

Так в Кировском СХИ [2] проводились исследования по снижению дымности ОГ при подаче метанола на впуске на дизельном двигателе 2Ч 10,5/12,0. Эксперименты показали, что подача метанола на впуске в объеме 15 и 30 % к расходу дизельного топлива (ДТ) снижает дымность ОГ. Влияние подачи метанола на впуске дизеля на дымность ОГ и содержание токсичных компонентов при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ показано на рисунке 1 [2].

Из графиков, представленных на рисунке 1а, видно, что дымность ОГ дизеля при работе с подачей метанола на впуске снижается по сравнению с работой на ДТ во всем диапазоне нагрузок. Так, на номинальном режиме дымность при работе на ДТ составляет 4,6 ед. по шкале Bosch, то при подаче 15% метанола на впуске – 3,8, а при подаче 30% – метанола 2,8 ед. по шкале Bosch. Снижение дымности ОГ дизеля составляет соответственно 20 и 40% по сравнению с ДТ [1, 2].

Влияние подачи метанола на впуске на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля в зависимости от частоты вращения, представлено на рисунке 1, б.

Из графиков видно, что с увеличением частоты вращения дымность ОГ дизеля снижается. Так, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ это снижение составляет 35-40%, а на частоте $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ – 40% при подаче 15% метанола и 70% при подаче 30% метанола на впуске [1, 2].



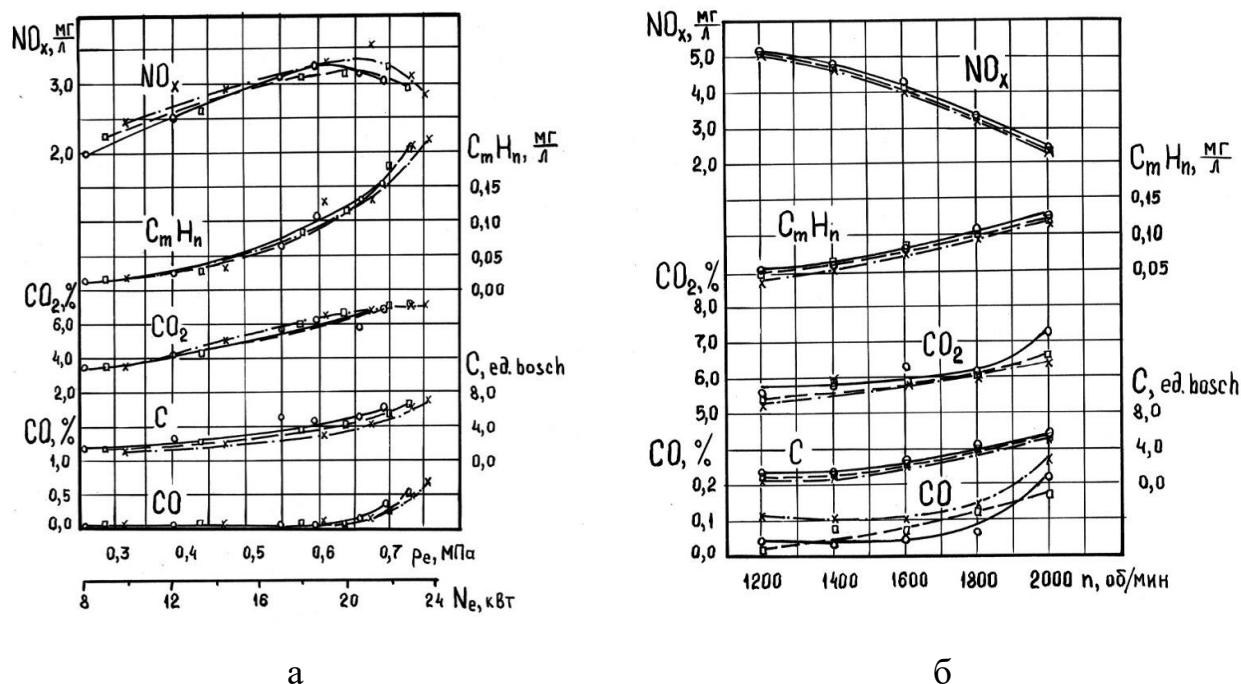


Рисунок 1 – Влияние применения метанола на впуске на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от:

а) нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) частоты вращения;

□ - - - □ – с подачей метанола 15%; × - - - × – с подачей метанола 30%;

Δ - - - Δ – расход ДТ при работе с подачей 30% метанола

Влияние применения метанола в составе метанола-топливной эмульсии с процентным содержанием метанола 20 и 35% на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при частоте вращения 1800 мин^{-1} представлено на рисунке 2, а [4].

Дымность ОГ снижается при работе дизеля на МТЭ по сравнению с работой на ДТ. Так, увеличение нагрузки от $p_e = 0,23 \text{ МПа}$ до $p_e = 0,70 \text{ МПа}$ приводит к росту дымности ОГ от 1,8 до 6,3 ед. bosch, в то время как работа на МТЭ сопровождается дымностью ОГ от 0,1 ед. bosch до 4,1 ед. bosch [4]. Снижение, как и следовало ожидать, вызывается меньшей склонностью к дымлению при сгорании спиртов в сравнении с ДТ. На номинальной частоте вращения при $p_e = 0,59 \text{ МПа}$ снижение дымности ОГ составляет соответственно 36 и 53% при содержании в ДТ 20 и 35% метанола [4].



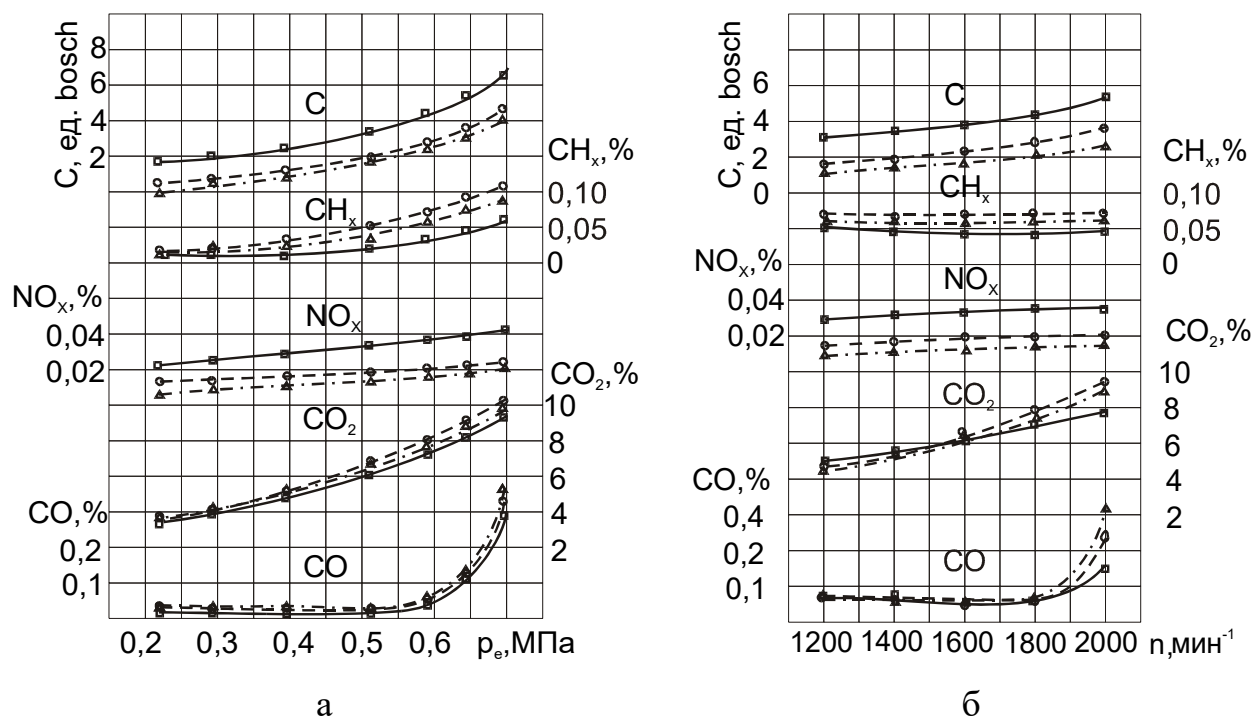


Рисунок 2 – Влияние применения метанола на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от:

а) нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) частоты вращения;

□ — ДТ; ○ — 20% метанола в ДТ; ▲ — 35% метанола в ДТ

На рисунке 2б [4] показано влияние метанола на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Дымность ОГ при работе на МТЭ по сравнению с работой на ДТ снижается, однако с увеличением частоты вращения это снижение менее выражено. Если при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ это снижение составляет 45%, то при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ оно составляет 34%.

Влияние применения метанола в виде метанола-топливной эмульсии (МТЭ) на дымность ОГ и другие экологические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при номинальной частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ представлено на рисунке 3а [9, 10].

Дымность ОГ дизеля снижается при работе на МТЭ во всем диапазоне нагрузок. При работе на ДТ максимальная дымность ОГ составляет



2,6 ед. bosch, а при работе на МТЭ – 0,9 ед. bosch, т. е. дымность ОГ снижается в 2,9 раза. Такое значительное снижение дымности ОГ дизеля при работе на МТЭ можно объяснить тем, что в эмульсии содержится метанол, имеющий в своей молекуле 50% кислорода, который обеспечивает практически полное выгорание сажевых частиц в КС.

Исследователями при рассмотрении изменения экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения (рисунок 3б) [9, 10] установлено, что дымность ОГ при работе на МТЭ ниже, чем при работе на ДТ на всех скоростных режимах.

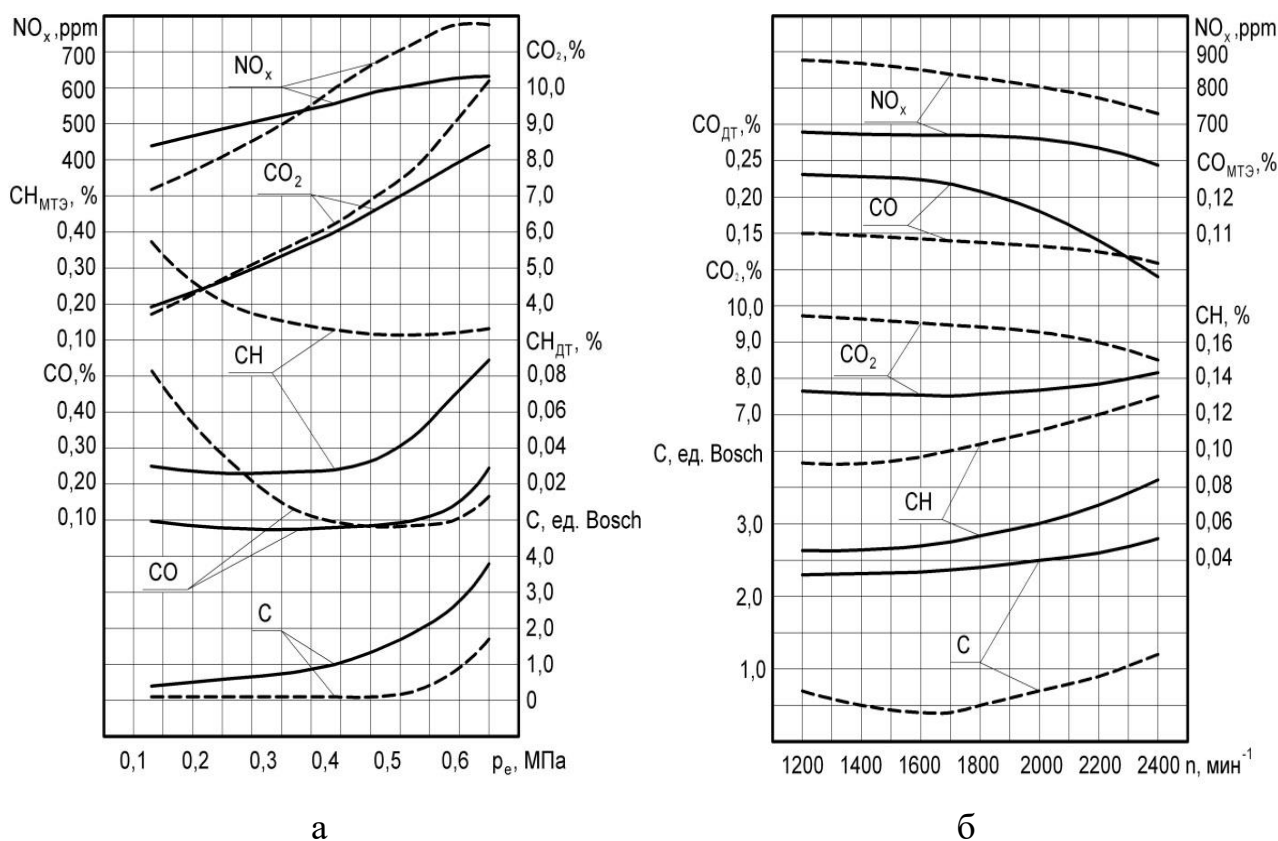


Рисунок 3 – Влияние применения метанола-топливной эмульсии на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от:

а) нагрузки при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$; б) частоты вращения;

— — ДТ; — — — МТЭ



Так, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 2,3 ед. bosch при работе на ДТ, а при работе на МТЭ – 0,7 ед. bosch. Дымность ОГ снижается на 1,6 ед. bosch, или в 3,3 раза. При $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ составляет 2,8 ед. bosch при работе на ДТ, а при работе на МТЭ – 1,2 ед. bosch. Дымность ОГ снижается на 1,6 ед. bosch, или в 2,3 раза.

Исследования, проведенные рядом авторов [1, 2], показали, что впрыскивание метанола непосредственно в КС дизеля в жидкой фазе отдельной форсункой позволяет снижать дымность ОГ в 2 и более раз, поскольку метанол при горении не образует сажи, и в этом случае можно достичь максимального снижения дымности.

Влияние применения метанола на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при частоте вращения $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ при воспламенении от ДТ представлено на рисунке 4а [7, 8].

Из графиков видно, что при работе дизеля на метаноле дымность ОГ снижается с 2,1 ед. bosch при работе на ДТ до 0,1 ед. bosch при нагрузке $p_e = 0,127 \text{ МПа}$. Снижение составляет 95%. При максимальной нагрузке $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ дымность ОГ снижается с 6,5 до 1,3 ед. по шкале Bosch, т. е. на 80%.

Это объясняется в первую очередь меньшим содержанием углерода и большим содержанием кислорода в топливе, что приводит к ухудшению условий для крекинга и снижению содержания сажи и твердых частиц в ОГ дизеля, работающего на метаноле.

Влияние применения метанола на дымность ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от частоты вращения коленчатого вала представлено на рисунке 4б [7, 8]. При частоте вращения $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ уменьшается с 3,7 ед. bosch при работе на ДТ до 0,65 ед. bosch при работе на метаноле, т. е. на 82,4%. При $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ уменьшается с 6,8 ед. bosch при работе на ДТ до 1,0 ед. bosch при работе на метаноле с ДСТ, т.е. на 85,3%.



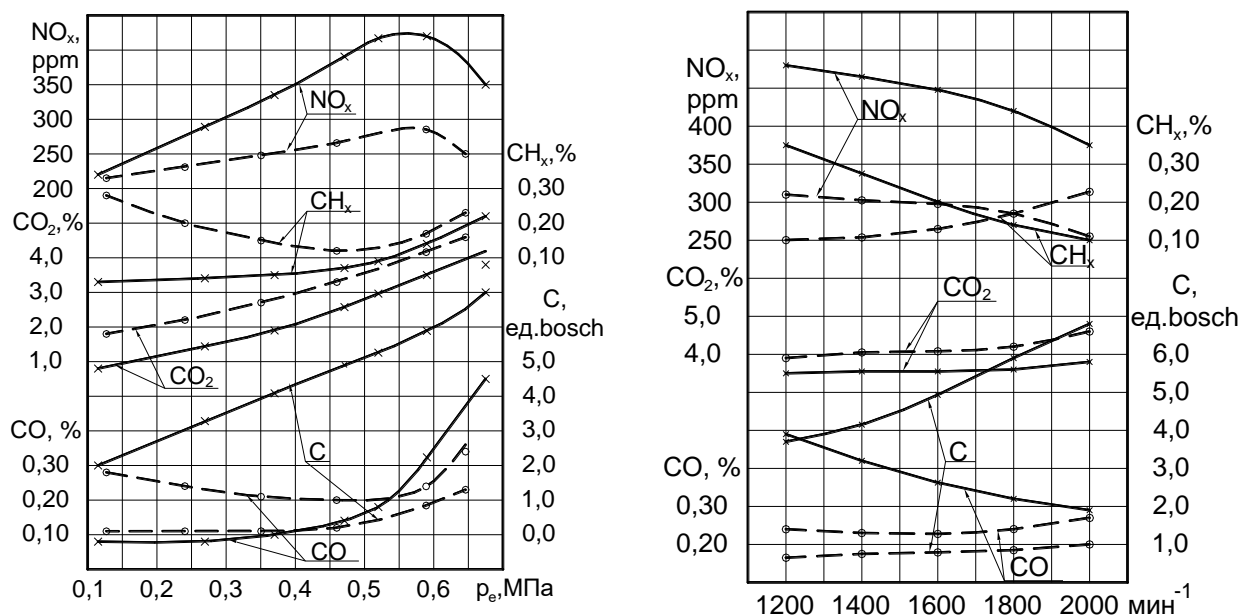


Рисунок 4 – Влияние применения метанола на дымность и содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от:
 а) нагрузки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) – частоты вращения;

○—○ – ДТ; □ - - - □ – метанол и ДТ

Снижение дымности ОГ дизеля при работе на метаноле и ДТ можно объяснить тем, что метанол в своей молекуле имеет 50% кислорода, который обеспечивает практически полное выгорание сажевых частиц в КС.

Tutak et al. в работе [11] описывает влияние метанола и E85 (85% этанола и 15% дизельного топлива) в качестве дополнительного топлива, подаваемого в дизель, на его характеристики сгорания и токсичность ОГ. Эти виды топлива добавлялись путем впрыскивания во впускной коллектор в количествах, выраженных их энергетическим процентом 20, 50, 75 и 90% по отношению к общему объему дизельного топлива – метанол или дизельное топливо – E85. На рисунке 5 [11] представлено изменение содержания сажи в ОГ дизеля в зависимости от энергетического процента дополнительного топлива.



Из графиков видно, что увеличение подачи метанола приводит к снижению содержания сажи в ОГ дизеля. По мнению авторов есть несколько причин, приводящих к снижению выбросов сажи при фумигации спирта. Сгорает меньше ДТ, некоторая часть топлива заменяется спиртом, который уменьшает сгорание ДТ в контролируемой диффузионной фазе. Соотношение углерода и водорода в ДТ выше и оно вызывает тенденцию к образованию сажи в условиях, богатых топливом. Спиртовое топливо имеет более низкое отношение массы С/Н, что способствует снижению выбросов сажи.

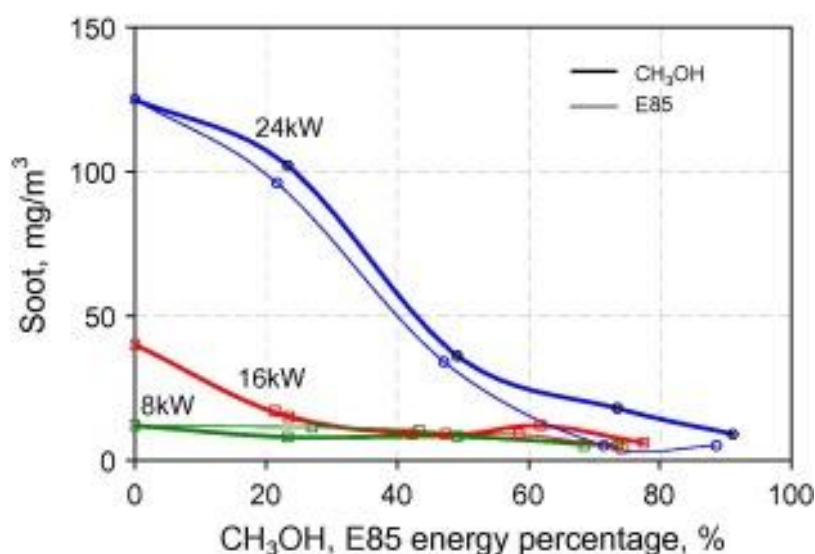


Рисунок 5 – Выброс сажи с ОГ дизеля в зависимости от энергетического процента дополнительного топлива (метанол или E85)

Как показано на рисунке, при применении метанола или E85 наблюдается значительное снижение эмиссии сажи при полной нагрузке. В этом исследовании максимальное снижение сажи было достигнуто при 90% подаче метанола или E85. Максимальный выброс сажи наблюдался на двигателе, работающем на одном ДТ, и составлял 125 мг/м³. При подаче 90%-й спирта (как метанол, так и E85) выброс сажи снизился до нескольких мг/м³.



В работах ряда исследователей [12-17] также отмечается, что метанол оказался более эффективным в снижении выбросов сажи.

Выводы. В проведенных исследованиях добавление метанола в качестве топлива для дизелей значительно уменьшает выбросы сажи, т. е. присутствие кислорода в смеси дизельное топливо-спирты объясняет снижение выбросов сажи с ОГ. Добавление кислородосодержащего топлива в дизельное также приводит к снижению количества сажи, поскольку кислородная структура топлива играет ключевую роль в образовании сажи.

Кислородные топливные смеси, по-видимому, имеют более высокую реакционную способность к окислению в выпускной системе.

Таким образом, применение метанола снижает дымность отработавших газов дизельных двигателей по сравнению с работой на дизельном топливе на всех скоростных и нагрузочных режимах. В зависимости от способа подачи снижение дымности может достигать двух и более раз, поскольку метанол при горении не образует сажи, что помогает достичь максимального результата.

Список источников

1. Лиханов В. А., Сайкин А. М. Снижение токсичности автотракторных дизелей : монография. 2-е изд., испр. и доп. М. : Колос, 1994. 224 с.
2. Лиханов В. А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. Киров : Вятская ГСХА, 2001. 212 с.
3. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В. А. Марков, А. И. Гайворонский, Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко. М. : Легион-Автодата, 2008. 464 с.
4. Гуцин С. Н., Лиханов В. А. Исследование рабочих процессов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метанола-топливной эмульсии :



- монография / под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2006. 120 с.
5. Лиханов В. А. Улучшение экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 3. С. 8 - 11.
 6. Улучшение эффективных и экологических показателей дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле / В. А. Лиханов [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 4. С. 10-13.
 7. Лиханов В. А., Глухов А. А. Снижение дымности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи: монография / под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2008. 139 с.
 8. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с двойной системой топливоподачи : монография / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Анфилатов, А. А. Глухов // под общ. ред. В. А. Лиханова. Киров : Вятская ГСХА, 2009. 334 с.
 9. Лиханов В. А., Торопов А. Е. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии путем снижения дымности отработавших газов : монография // под общ. ред. В. А. Лиханова ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГОУ ВПО «Вят. гос. с.-х. акад.». Киров : Вят. ГСХА, 2010. 141 с.
 10. Лиханов В. А., Романов С. А., Торопов А. Е. Исследование рабочего процесса и улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на метаноле-топливной эмульсии : монография // под общ. ред. В. А. Лиханова ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, ФГОУ ВПО «Вят. гос. с.-х. акад.». Киров : Вят. ГСХА, 2011. 237 с.



11. Tutak, W., Lukács, K., Szwaja, S., Bereczkyb, Á. Alcohol–diesel fuel combustion in the compression ignition engine // Fuel. Volume 154, 15 August 2015, P. 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.03.071>.
12. Лиханов В. А., Юрлов А. С. Улучшение экологических показателей быстроходного дизеля снижением дымности отработавших газов при работе на альтернативных топливах. Киров : ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2021. 180 с. ISBN 978-5-6045024-6-4. EDN TYGUPA.
13. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование показателей рабочего процесса быстроходного малоразмерного дизеля при работе на этаноле и рапсовом масле // Двигателестроение. 2022. № 2 (288). С. 61-71. DOI 10.18698/jec.2022.2.61-71. EDN КАЕРУО.
14. Лиханов В. А., Россохин А. В. Физико-химические свойства, морфология, структура и реакционная способность частиц сажи отработавших газов дизелей // Двигателестроение. 2022. № 3 (289). С. 64-69. DOI 10.18698/jec.2022.3.64-69. EDN XLTYRR.
15. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование токсичности дизельного двигателя при работе на различных альтернативных топливах // Двигателестроение. 2023. № 2 (292). С. 54-61. DOI 10.18698/jec.2023.2.54-61. EDN RYGLTT.
16. Лиханов В. А., Козлов А. Н. Моделирование сажевыделения в дизельном двигателе // Двигателестроение. 2023. № 3 (293). С. 51-60. <https://doi.org/10.18698/jec.2023.3.51-60>.
17. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование процесса сгорания в тракторном дизеле при работе на спирте и растительном масле // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90. № 3. С. 191-200. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-320931>.

