

Information about the authors

1. **Dimitriev Anatoliy Viktorovich**, Associate Professor of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, the Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marx Str.; e-mail: dimanvik@list.ru tel. 8-917-066-25-25;

2. **Pushkarenko Nikolay Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Dean of the Engineering Faculty of the Chuvash State Agricultural Academy, 428003, the Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marx Str.; e-mail: stl_mstu@mail.ru tel. 8-906-385-41-91;

3. **Saburin Anton Sergeevich**, Master's Degree in Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, 117997, Russian Federation, Moscow, Stremyanny per., 36; e-mail: sogl-gas@yandex.ru, tel. 8-917-650-11-10.

УДК 621.436

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА В ДИЗЕЛЕ НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДОВ АЗОТА В
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ**

В.А. Лиханов, А.А. Анфилатов, Н.С. Анфилатова

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

Аннотация. При проведении исследований по улучшению экологических показателей дизелей необходимо уделять внимание снижению содержания в отработавших газах оксидов азота, поскольку они являются наиболее токсичными компонентами среди всех загрязняющих химических соединений, содержащихся в отработавших газах, так как образуются в процессе горения в результате химических реакций атмосферных кислорода и азота.

Наиболее эффективным способом применения метанола в двигателях внутреннего сгорания в настоящее время является подача его непосредственно в цилиндр дизеля с использованием двойной системы топливоподачи, позволяющей замещать до 80 % нефтяного топлива. Воспламенение метанола при этом происходит за счет подачи запальной порции дизельного топлива. Данный способ при некоторых изменениях и дополнениях в конструкцию дизеля может быть реализован в двигателях, уже находящихся в эксплуатации.

В данной работе рассмотрено влияние применения метанола на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в отработавших газах, рассчитанных по результатам экспериментальных исследований дизеля 2Ч 10,5/12,0 воздушного охлаждения с полусферической камерой сгорания в поршне при использовании двойной системы топливоподачи и впрыскивании дизельного (запального) топлива через многоструйную форсунку в зависимости от изменения нагрузки.

Ключевые слова: дизель, метанол, оксиды азота, объемное содержание оксидов азота, массовая концентрация оксидов азота, двойная система топливоподачи.

Введение. Степень отрицательного воздействия транспорта на организм человека и окружающую среду, которую в Российской Федерации и за рубежом принято оценивать по критерию «экологическая безопасность» через удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания, оценивается не вполне объективно. Транспортные двигатели играют существенную роль в загрязнении окружающей среды. В крупных городах они являются одним из главных источников токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу. По своей природе ОГ двигателей внутреннего сгорания представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц. Особую опасность для атмосферы и окружающей среды представляют собой такие токсичные компоненты, как оксиды азота и сажа, попадающие из ОГ.

Качественное протекание рабочего процесса связано с уровнем организации смесеобразования и может быть обеспечено регулировкой угла начала впрыска топлива, от которого зависит количество испарившегося топлива за период задержки воспламенения. Угол опережения начала впрыска топлива Θ , как правило, регулируется у дизелей в расчете на самую большую топливную экономию при частоте вращения, соответствующей максимальной мощности. Необходимо отметить, что анализ различных характеристик дизелей показывает существование наибольших уровней выбросов оксидов азота во всем диапазоне сочетаний частот вращения и нагрузки, соответствующих лучшим удельным расходам топлива.

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии на кафедре тепловых двигателей, автомобилей и тракторов были проведены исследования по применению метилового спирта (метанола) на серийном дизельном двигателе Д-120 (2Ч 10,5/12,0). Дизель используется на тракторах ВТЗ-2032, ВТЗ-30СШ, Т-30, Т-25А, Т-25Ф, самоходных шасси Т-16МГ.

Материалы и методы. Трактор Т-25А, предназначенный для работы на метаноле с двойной системой топливоподачи (ДСТ), представлен на рис. 1. Система питания на метаноле с ДСТ позволяет замещать до 80 % дизельного топлива (ДТ). Запуск дизеля производится на дизельном топливе, а затем включается подача

метанола, и работа трактора осуществляется путем регулирования подачи метанола по всережимной характеристике. Запальная доза дизельного топлива остается постоянной.



Рис. 1. Общий вид трактора Т-25А с системой питания, модернизированной для работы метаноле с двойной системой топливоподачи

Реализация способа использования метанола путем подачи его непосредственно в камеру сгорания и воспламенения от запальной порции ДТ с помощью ДСТ предусматривает установку двух топливных систем, в том числе двух ТНВД и двух форсунок на каждый цилиндр. Общий вид дизеля 2Ч 10,5/12,0, установленного на стенде с двумя ТНВД, представлен на рис. 2. При этом серийная топливная система используется для подачи метанола, а для подачи запального ДТ устанавливается дополнительная топливная система. ТНВД марки 2УТНМ крепится с помощью проставки на посадочное место маслосаливной горловины дизеля и приводится во вращение специально изготовленной для базового насоса шлицевой втулкой с удлиненными шлицами посредством соединительной муфты с внутренним зубчатым венцом. На фланце проставки для крепежных болтов пропилены пазы, благодаря чему корпус насоса можно проворачивать относительно проставки, меняя при этом значение установочного угла опережения впрыскивания ДТ, поскольку кулачковый вал насоса для подачи метанола остается неподвижным. Установочный угол опережения впрыскивания метанола с помощью серийного насоса меняется обычно путем смещения шлицевого фланца относительно зубчатого колеса привода топливного насоса [3, 4].



Рис. 2. Общий вид дизеля 2Ч 10,5/12,0, установленного на стенде

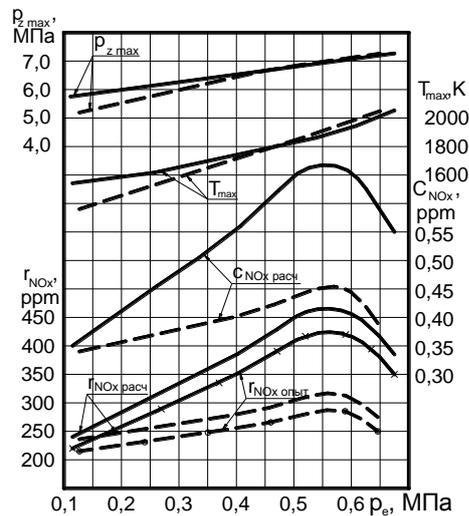
Результаты исследований и их обсуждение. С помощью экспериментальных исследований и расчетов были определены значения содержания расчетного объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки.

Увеличение процентного выгорания топлива в начальный период при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ приводит к снижению доли потерь тепла в этот период. Это вызывает увеличение коэффициента активного тепловыделения, что предопределяет более эффективное его использование в цилиндре дизеля в начальный период сгорания основной части топлива.

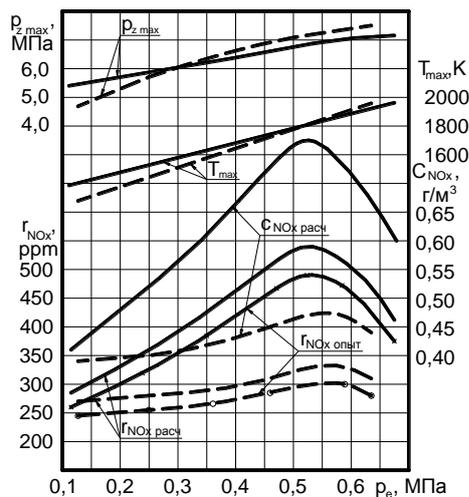
Графики объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ, рассчитанных по результатам экспериментальных данных, и $\gamma_{\text{NOx опыт}}$, полученное по результатам газового анализа ОГ, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на ДТ и метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки для номинальной частоты вращения 1800 мин^{-1} представлены на рис. 3, а.

Данные, представленные на графиках, свидетельствуют о том, что при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается и максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 5,8 МПа при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,2 МПа при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Увеличение $p_{z \text{ max}}$ составляет 1,4 МПа, или 19,4%. Максимальная осредненная температура газов T_{max} в цилиндре дизеля возрастает с 1540 К при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 2020 К при $p_e = 0,65 \text{ МПа}$. Рост значения температуры составляет 480 К, или 31,1%.

Из графиков, представленных на рисунке 3, а, становится очевидно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ при увеличении нагрузки объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 225 ppm при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 420 ppm при $p_e = 0,585 \text{ МПа}$. При максимальной нагрузке $p_e = 0,650 \text{ МПа}$ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 380 ppm. Происходит увеличение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ в 1,69 раза. Кривые, представленные на рис. 3, а, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота, полученное расчетным путем в ОГ дизеля возрастает до значения $p_e = 0,55 \text{ МПа}$, а затем снижается. На графиках видно, что при увеличении нагрузки объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 242 ppm при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 465 ppm при $p_e = 0,55 \text{ МПа}$, а затем снижается до 420 ppm при $p_e = 0,650 \text{ МПа}$. Увеличение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ составляет 223 ppm, или 73,5%.



а)



б)

Рис. 3. Влияние применения метанола в дизеле 2Ч 10,5/12,0 при работе с ДСТ на объемное содержание и массовую концентрацию оксидов азота в ОГ, показатели процесса сгорания в цилиндре в зависимости от изменения нагрузки при $\Theta_{\text{дт}} = 34^\circ, \Theta_{\text{м}} = 34^\circ$: а - $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б - $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$:

— — — — — дизельный процесс; - - - - - метанол с запальным ДТ

На графиках видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ ОГ возрастает от 0,35 г/м³ при $p_e = 0,127$ МПа до 0,67 г/м³ при $p_e = 0,55$ МПа, а затем снижается до 0,58 г/м³ при $p_e = 0,650$ МПа. Увеличение массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ составляет 0,58 г/м³, или 91,4%.

Кривые, представленные на рис. 3, а, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ показатели процесса сгорания изменяются при всём диапазоне изменения нагрузки. На графиках на рис. 3,а видно, что при увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 5,2 МПа при $p_e = 0,127$ МПа до 7,3 МПа при $p_e = 0,65$ МПа. Увеличение равно 2,1 МПа, или 40,3 %. Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле увеличивается от 1360 К при $p_e = 0,127$ МПа до 2040 К при $p_e = 0,65$ МПа. Рост температуры при изменении нагрузки составляет 680 К, или 50,0 %.

Данные, представленные на графиках, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 215 ppm при $p_e = 0,127$ МПа до 285 ppm при $p_e = 0,55$ МПа, а затем снижается до 250 ppm при $p_e = 0,650$ МПа. Увеличение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ составляет 32,6%.

Кривые, представленных на рисунке 3, а, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 236 ppm при $p_e = 0,127$ МПа до 320 ppm при $p_e = 0,55$ МПа, а затем снижается до 275 ppm при $p_e = 0,650$ МПа. Увеличение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ составляет 84 ppm, или 35,6%.

На графиках видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 0,34 г/м³ при $p_e = 0,127$ МПа до 0,45 г/м³ при $p_e = 0,55$ МПа, а затем снижается до 0,40 г/м³ при $p_e = 0,650$ МПа. Увеличение массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ составляет 0,11 г/м³, или 32,4 %.

Анализируя изменения значений показателей процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при $n=1800$ мин⁻¹ и оптимальных УОВТ, можно отметить следующее. Максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $p_e = 0,127$ МПа максимальное давление цикла снижается с $p_{z \text{ max}} = 5,8$ МПа, при работе дизеля на ДТ – до $p_{z \text{ max}} = 5,2$ МПа при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 10,3 %. С увеличением нагрузки происходит и увеличение максимального давления сгорания. Так, при $p_e = 0,65$ МПа $p_{z \text{ max}} = 7,2$ МПа при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ – $p_{z \text{ max}} = 7,3$ МПа. Увеличение составляет 1,39%.

Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках ($p_e = 0,127$ МПа) снижается и составляет 1360 К по сравнению с максимальной температурой при работе дизеля на ДТ, которая составляет 1540 К. Снижение составляет 180 К, или 11,7%. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,65$ МПа максимальная осреднённая температура цикла при работе дизеля на метаноле с использованием ДСТ возрастает и составляет 2040 К по сравнению с T_{max} при работе на ДТ, которая равна 2020 К. Увеличение составляет 20 К.

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n=1800$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 225 ppm при работе на ДТ до 215 ppm при работе на метаноле с ДСТ, или на 4,4%.

При $p_e = 0,55$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно изменяется. Если при работе на ДТ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 420 ppm, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только 285 ppm. Снижение составляет 32%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,65$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 380 ppm при работе дизеля на ДТ до 250 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или 34,2%.

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n=1800$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 242 ppm при работе на ДТ до 236 ppm при работе на метаноле с ДСТ, то есть на 6 ppm, или 2,5%. При $p_e = 0,55$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно изменяется. Если при работе на ДТ объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет 465 ppm, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только 320 ppm. Снижение составляет 145 ppm, или 31,2%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,65$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 420 ppm при работе дизеля на ДТ до 275 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, то есть на 145 ppm, или на 31,2%.

Анализируя изменения значений массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n=1800$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить следующее. Массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 0,35 г/м³ при работе на ДТ до 0,34 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ. При $p_e = 0,55$ МПа массовая концентрация $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в ОГ

еще более существенно снижается. Если при работе на ДТ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет $0,67 \text{ г/м}^3$, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только $0,45 \text{ г/м}^3$. Снижение составляет $0,22 \text{ г/м}^3$, или 32,8%. При максимальных нагрузках (при $p_e=0,65 \text{ МПа}$) снижение массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от $0,58 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на ДТ до $0,40 \text{ г/м}^3$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ, то есть на $0,18 \text{ г/м}^3$, или на 31,1%.

На рис. 3, б представлено влияние применения метанола с ДСТ на объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ расч}}$, массовую концентрацию $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ, рассчитанных по результатам экспериментальных данных, и $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$, полученное по результатам газового анализа ОГ, осредненную температуру и давление газов в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения в максимально крутящем моменте ($n = 1400 \text{ мин}^{-1}$).

На графиках видно, что при работе дизеля на ДТ при увеличении нагрузки увеличивается максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ от 5,46 МПа при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,10 МПа при $p_e=0,635 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 1,64 МПа, или 30,0%. Максимальная осредненная температура газов в цилиндре возрастает с 1400 К при $p_e=0,127 \text{ МПа}$ до 1920 К при $p_e=0,635 \text{ МПа}$. Рост температуры составляет 520 К, или 37,1%.

На графиках также видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ при увеличении нагрузки объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 265 ppm при $p_e=0,127 \text{ МПа}$ до 480 ppm при $p_e=0,530 \text{ МПа}$. При максимальной нагрузке $p_e=0,635 \text{ МПа}$ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 430 ppm. Происходит увеличение объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ в 1,81 раза.

Кривые, представленные на рис.3, б, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота, полученное расчетным путем в ОГ дизеля, возрастает от 280 ppm при $p_e=0,127 \text{ МПа}$ до 545 ppm при $p_e=0,530 \text{ МПа}$, а затем снижается до 475 ppm при $p_e=0,635 \text{ МПа}$. Увеличение объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ расч}}$ составляет 265 ppm, или 94,6%.

На графиках также видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на ДТ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от $0,42 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до $0,78 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,530 \text{ МПа}$, а затем снижается до $0,68 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ составляет $0,36 \text{ г/м}^3$, или 85,7%.

Кривые, представленные на рис. 3, б, свидетельствуют о том, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ показатели процесса сгорания изменяются во всем диапазоне изменения нагрузки. При увеличении нагрузки максимальное давление сгорания $p_{z \text{ max}}$ возрастает с 4,7 МПа при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 7,5 МПа при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 2,8 МПа, или 59,6%. Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ увеличивается от 1280 К при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 1960 К при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Рост температуры составляет 680 К, или 53,1%.

На графиках видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 245 ppm при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 300 ppm при $p_e = 0,530 \text{ МПа}$, а затем снижается до 280 ppm при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ составляет 55 ppm, или 22,4%.

На графиках видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от 270 ppm при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до 335 ppm при $p_e = 0,530 \text{ МПа}$, а затем снижается до 320 ppm при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ расч}}$ составляет 65 ppm, или 24,0%.

На графиках видно, что при работе дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метаноле с ДСТ массовая концентрация $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота в ОГ возрастает от $0,38 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ до $0,47 \text{ г/м}^3$ при $p_e=0,530 \text{ МПа}$, а затем снижается до $0,44 \text{ г/м}^3$ при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$. Увеличение массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ составляет $0,09 \text{ г/м}^3$, или 23,6%.

Анализируя изменения значений показателей процесса сгорания в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что максимальное давление цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках меньше, чем при работе дизеля на ДТ. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ максимальное давление цикла снижается с $p_{z \text{ max}} = 5,46 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ до $p_{z \text{ max}} = 4,7 \text{ МПа}$ при работе дизеля на метаноле с ДСТ. Снижение составляет 13,9 %. С увеличением нагрузки происходит увеличение максимального давления сгорания. Так, при $p_e = 0,635 \text{ МПа}$ значение $p_{z \text{ max}} = 7,10 \text{ МПа}$ при работе дизеля на ДТ, а при работе дизеля на метаноле с ДСТ $p_{z \text{ max}} = 7,50 \text{ МПа}$. Увеличение составляет 5,6%.

Максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ на малых нагрузках ($p_e = 0,127 \text{ МПа}$) составляет 1280 К, а при работе на ДТ – $T_{\text{max}} = 1400 \text{ К}$. Увеличение составляет 120 К, или 9,4 %. При увеличении нагрузки до $p_e = 0,635 \text{ МПа}$ максимальная осредненная температура цикла при работе дизеля на метаноле с ДСТ возрастает и составляет 1960 К по сравнению с T_{max} при работе дизеля на ДТ, которая равна 1920 К. Увеличение составляет 40 К, или 2%.

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127 \text{ МПа}$ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 265 ppm при работе на ДТ до 245 ppm при работе на метаноле с ДСТ, или на 8,2%. При $p_e = 0,530 \text{ МПа}$ объемное содержание $\gamma_{NOx \text{ опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет 480 ppm, а при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только 300 ppm. Снижение

составляет 37,5%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{опыт}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 430 ppm, при работе дизеля на ДТ до 280 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, или 34,9 %.

Анализируя изменения значений объемного содержания $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n=1400$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что объемное содержание $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 280 ppm при работе на ДТ до 270 ppm при работе на метаноле с ДСТ, то есть на 10 ppm, или 3,6%. При $p_e = 0,530$ МПа объемное содержание $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе на ДТ составляет 545 ppm, а при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только 335 ppm. Снижение составляет 210 ppm, или 38,5%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635$ МПа) снижение объемного содержания $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 475 ppm при работе дизеля на ДТ до 320 ppm при работе дизеля на метаноле с ДСТ, то есть на 155 ppm, или на 32,6%.

Анализируя изменения значений массовой концентрации $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ дизеля в зависимости от изменения нагрузки при частоте вращения $n=1400$ мин⁻¹ и оптимальных установочных УОВТ, можно отметить, что массовая концентрация $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ при работе дизеля на метаноле с ДСТ существенно ниже, чем при работе на ДТ во всем диапазоне изменения нагрузки. Так, при $p_e = 0,127$ МПа массовая концентрация $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ снижается с 0,42 г/м³ при работе на ДТ до 0,38 г/м³ при работе на метаноле с ДСТ. При $p_e = 0,530$ МПа массовая концентрация $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ еще более существенно снижается. Если при работе на ДТ массовая концентрация $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет 0,78 г/м³, то при этой же нагрузке, но при работе на метаноле с ДСТ – только 0,47 г/м³. Снижение составляет 0,31 г/м³, или 39,7%. При максимальных нагрузках (при $p_e = 0,635$ МПа) снижение массовой концентрации $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ оксидов азота в ОГ составляет от 0,68 г/м³ при работе дизеля на ДТ до 0,44 г/м³ при работе дизеля на метаноле с ДСТ, то есть на 0,24 г/м³, или на 35,3% [1, 2].

Выводы.

Таким образом, с помощью экспериментальных исследований путем расчетов были определены значения содержания оксидов азота, расчетного объемного содержания γ_{NOx} и массовой концентрации C_{NOx} оксидов азота в ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения нагрузки. Установлено, что для $n = 1800$ мин⁻¹, оптимальных углов и $p_e = 0,55$ МПа значения $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{опыт}}$ при работе на ДТ составляют 420 ppm, а при работе на метаноле с ДСТ – только 285 ppm. Снижение составляет 32,1%. Значения $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ при работе на ДТ составляют 0,67 г/м³, а при работе на метаноле с ДСТ – только 0,45 г/м³. Снижение составляет 32,8%. При $n=1400$ мин⁻¹ оптимальных углов и $p_e = 0,53$ МПа значения $\gamma_{\text{NOx}}^{\text{опыт}}$ при работе на ДТ составляют 545 ppm, а при работе на метаноле с ДСТ – только 335 ppm. Снижение составляет 38,5%. Значения $C_{\text{NOx}}^{\text{расч}}$ при работе на ДТ составляют 0,78 г/м³, а при работе на метаноле с ДСТ – только 0,47 г/м³. Снижение составляет 39,7 %.

Литература

1. Анфилатова, Н. С. Применение этанола в качестве моторного топлива для дизелей с использованием двойной системы топливоподачи / Н. С. Анфилатова // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: материалы X Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2017. – Вып. 14. – С. 254 – 259.
2. Анфилатов, А. А. Расчет влияния физических свойств топлив на характеристики впрыскивания и распыливания / А. А. Анфилатов, Н. С. Анфилатова // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: материалы X Международной научно-практической конференции «Наука – Технология – Ресурсосбережение». – Киров: Вятская ГСХА, 2017. – Вып. 14. – С. 272 – 277.
3. Лиханов, В. А. Изменение образования оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на метаноле / В. А. Лиханов, А. А. Анфилатов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 4. – С. 3-5.
4. Лиханов, В. А. Особенности показателей процесса сгорания и характеристик тепловыделения дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле с ДСТ в зависимости от изменения нагрузки / В. А. Лиханов, А. Н. Чувашев, А. А. Глухов // Улучшение эксплуатационных показателей мобильной энергетики. – Киров: ФГОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. – С. 250 – 256.

Сведения об авторах

1. **Лиханов Виталий Анатольевич**, доктор технических наук, академик РАТ, профессор, зав. Кафедрой тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: lihanov.va@mail.ru, тел. 8(8332)57-43-07;
2. **Анфилатов Антон Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: anfilatov001@mail.ru, тел. 8(8332)57-43-27;
3. **Анфилатова Надежда Сергеевна**, аспирант кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов, Вятская государственная сельскохозяйственная академия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, e-mail: wtk.kalina@bk.ru, тел. 8(8332)37-57-28.

EFFECT OF METHANOL USE IN DIESEL ENGINE ON THE CONTENT OF NITROGEN OXIDES IN EXHAUST GASES

V.A. Likhanov, A.A. Anfilatov, N.S. Anfilatova

Vyatka State Agricultural Academy
610017, Kirov, Russian Federation

Abstract. When carrying out research to improve the environmental performance of diesel engines, attention should be paid to reducing the nitrogen oxide content of the effluent gases, since they are the most toxic components among the entire range of polluting chemical compounds contained in exhaust gases, since they are formed in the combustion process as a result of chemical reactions atmospheric oxygen and nitrogen.

The most effective way of using methanol in internal combustion engines is now to feed it directly to the diesel cylinder using a dual fuel supply system, which allows replacing up to 80% of the fuel oil. The ignition of methanol in this case is due to the supply of a seed portion of diesel fuel. This method, with some changes and additions to the design of the diesel engine, can be implemented on engines already in operation.

In this paper, the effect of methanol application on the volumetric content and mass concentration of nitrogen oxides in exhaust gases calculated on the basis of the results of experimental studies of a diesel engine of 2Ч 10,5/12,0 air cooling with a hemispherical combustion chamber in a piston using a dual fuel delivery system and injection of diesel fuel (ignition) through a multi-jet nozzle, depending on the change in load.

Key words: diesel, methanol, nitrogen oxides, volumetric content of nitrogen oxides, mass concentration of nitrogen oxides, double fuel delivery system.

References

1. Anfilatova N.S. The use of ethanol as a motor fuel for diesel engines using a dual fuel supply system / N.S. Anfilatova // Improving the performance of internal combustion engines. Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference "Science - Technology - Resource Saving": Collection of scientific papers. - Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2017.-Vol. 14. - Pp. 254-259.
2. Anfilatov A.A. Calculation of the influence of the physical properties of fuels on the characteristics of injection and spraying / A.A. Anfilatov, N.S. Anfilatova // Improving the performance of internal combustion engines Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference "Science - Technology - Resource Saving": Proceedings. - Kirov: Vyatka State Agricultural Academy, 2017.- Vol. 14. - Pp. 272-277.
3. Likhanov V.A. Change in the formation of nitrogen oxides in a diesel cylinder when working on methanol // V.A. Likhanov, A.A. Anfilatov // Tractors and agricultural machinery. 2015. № 4. Pp. 3-5.
4. Likhanov V.A. Features of the combustion process parameters and diesel heat dissipation characteristics of 2Ч 10,5 / 12,0 when working with methanol with DST depending on load changes /V.A. Likhanov, A.N. Chuvashov, A.A. Glukhov, A.A. Anfilatov// Improving the operational performance of mobile power. 2007. Pp. 250-256.

Information about authors

1. **Likhanov Vitaly Anatolyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya region, Kirov, 133, Oktyabrsky prospect, e-mail: lihanov.va@mail.ru, tel. 8(8332)57-43-07;
2. **Anfilatov Anton Anatolievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, head of the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya region, Kirov, 133, Oktyabrsky prospect, e-mail: anfilatov001@mail.ru, tel. 8(8332)57-43-27;
3. **Anfilatova Nadezhda Sergeevna**, Graduate Student at the Department of Heat Engines, Automobiles and Tractors, Vyatka State Agricultural Academy, 610017, Kirovskaya region, Kirov, 133, Oktyabrsky prospect, e-mail: wtk.kalina@bk.ru, тел. 8(8332)37-57-28.

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАНОЛА НА ДЫМНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ С ПОЛУСФЕРИЧЕСКОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

В.А. Лиханов, А.В. Россохин

Вятская государственная сельскохозяйственная академия
610017, Киров, Российская Федерация

Аннотация. Одной из причин, сдерживающих активное применение дизелей, является повышенное содержание в отработавших газах сажевых частиц, которые, в свою очередь, определяют дымность отработавших газов, в сравнении с бензиновыми ДВС. Поэтому необходимо любым способом снизить дымность отработавших газов. Другой проблемой, связанной с использованием дизелей, является высокая стоимость дизельного топлива, из-за чего возрастают затраты на эксплуатацию транспортных средств, оснащенных дизелями.