

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТЭ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ, ОБЪЕМА СОДЕРЖАНИЯ
И МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА
В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ 4Ч 11,0/12,5
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ПОВОРОТА
КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА**

А. В. Зонов, аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Вятской ГСХА

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы токсичности дизельных двигателей и возможность расширения топливной базы имеющихся современных дизелей. Статья содержит результаты исследований, проведенных на двигателе Д-240 (4Ч11,0/12,5), при работе на этанола-топливной эмульсии. Представлено влияние применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели дизельного двигателя на различных скоростных и нагрузочных режимах.

Ключевые слова: дизель, этанола-топливная эмульсия, экологические показатели.

**IMPROVING THE ECOLOGICAL
PERFORMANCE OF DIESEL 4ч 11,0/12,5 WHEN
RUNNING ON ETHANOL-FUEL EMULSION AT
DIFFERENT SPEED AND LOAD CONDITIONS**

A. V. Zonov, the post-graduate student of the chair «Internal combustion engines» State agricultural Academy in Vyatka

Annotation. In this article, consider the problem of toxicity of diesel engines and the possibility of expanding the ex-

isting fuel base of modern diesels. The article contains the results of studies conducted on the engine D-240 (4Ч 11,0/12,5), while working on an ethanol-fuel emulsion. Presented by the effects of using ethanol-fuel emulsion on the ecological performance of diesel engine at various speed and load conditions.

The keywords: diesel, ethanol-fuel emulsion, ecological indicators.

В работе представлены результаты исследований, проведенных на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры ДВС Вятской ГСХА, по улучшению экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этано-топливной эмульсии (ЭТЭ) путем снижения содержания токсичных компонентов в ОГ. В соответствии с методикой, целью и задачами исследований был выполнен комплекс работ по изучению влияния применения ЭТЭ в качестве моторного топлива для дизеля 4Ч 11,0/12,5.

Целью наших исследований является улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения ЭТЭ в качестве основного топлива с подачей ее непосредственно в камеру сгорания дизеля.

Для исследования особенностей протекания процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 при работе дизеля на ЭТЭ проводилось индицирование процесса сгорания на номинальном скоростном режиме при частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и на режиме максимального крутящего момента при частоте вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$. Значения нагрузки при работе дизеля на ЭТЭ устанавливались такими же, как и при работе дизеля на ДТ, чем обеспечивалось поддержание одинаковых значений среднего эффективного давления при работе дизеля на ЭТЭ и ДТ, что было необходимо для сравнения этих двух процессов.

Объемное содержание и массовая концентрация оксидов азота в цилиндре дизеля в зависимости от угла п.к.в. рассчитывалась по программе, разработанной в Ленинградском политехническом институте профессорами С. А. Батуриным и А. С. Лоскутовым. На рис. 1 представлены графики влияния применения ЭТЭ на объемное содержание Γ_{NO_x} и массовую концентрацию C_{NO_x} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ до ВМТ. Графики объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ расч}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла положения коленчатого вала, в дальнейшем п.к.в., при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 1, а. Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре двигателя при переходе с ДТ на ЭТЭ объемное содержание $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ расч}}$ и массовая концентрация $C_{\text{NO}_x \text{ расч}}$ оксидов азота в цилиндре рассчитываются нами для максимальных и выходных значений в зависимости от угла п.к.в.

Как видно из графиков, максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 970 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ составляет $1,40 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NO}_x \text{ max расч}} = 14,4^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NO}_x \text{ вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 740 ppm, при массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ вых расч}} 1,07 \text{ г/м}^3$. При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ в цилиндре составляет 870 ppm, максимальное значение массовой концентрации

$C_{NOx \text{ max расч}}$ составляет $1,18 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{NOx \text{ max расч}} = 20,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{NOx \text{ вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{NOx \text{ вых расч}} = 124^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 670 ppm , при массовой концентрации оксидов азота $C_{NOx \text{ вых расч}} = 0,91 \text{ г/м}^3$. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{NOx \text{ max расч}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 100 ppm или $0,22 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{NOx \text{ max расч}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ max расч}}$ оксидов азота на $11,5 \%$. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{NOx \text{ вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 70 ppm или $0,16 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{NOx \text{ вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ вых расч}}$ оксидов азота на $9,5 \%$. Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\Gamma_{NOx \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. дизельный процесс, ЭТЭ для одинакового положения коленчатого вала.

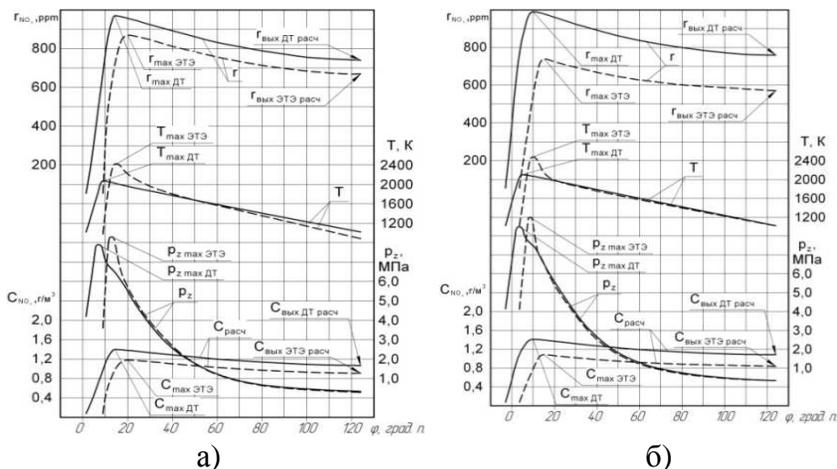


Рис. 1. Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание r_{NOx} и массовую концентрацию C_{NOx} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0 / 12,5 в зависимости от изменения угла п. к. в. двигателя при $\Theta_{впр} = 20^\circ$ до ВМТ:
 а) $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$; б) $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,69 \text{ МПа}$

При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{NOx \text{ max теор}} = 14,4^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $r_{NOx \text{ max теор}}$ составляет 970 ppm, $C_{NOx \text{ max теор}}$ составляет $1,40 \text{ г/м}^3$. При переходе на ЭТЭ $r_{NOx \text{ теор}}$ составляет 723 ppm, $C_{NOx \text{ теор}}$ составляет $0,98 \text{ г/м}^3$. Разница между значениями объемного содержания $r_{NOx \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{NOx \text{ теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 14,4^\circ$ п.к.в. после в.м.т. составляет 25,5 %.

Графики объемного содержания $r_{NOx \text{ расч}}$, массовой концентрации $C_{NOx \text{ расч}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12, в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на

ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$ до в.м.т. представлены на рис. 1, б.

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 990 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,41 \text{ г/м}^3$ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 10,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 760 ppm при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}} 1,08 \text{ г/м}^3$.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 740 ppm, максимальное значение массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,08 \text{ г/м}^3$ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 15,2^\circ$ п.к.в. после в.м.т. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 572 ppm при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 0,84 \text{ г/м}^3$. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 250 ppm или $0,33 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит уменьшение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 25,3 %. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 188 ppm или $0,24 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота на 24,7 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $r_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 10,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $r_{\text{NOx max теор}}$ составляет 990 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1,41 г/м³. При переходе на ЭТЭ $r_{\text{NOx теор}}$ составляет 551 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет 0,78 г/м³. Разница между значениями объемного содержания $r_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 10,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 44,3 %.

На рис. 2 представлены графики влияния применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание $r_{\text{NOx расч}}$ и массовую концентрацию $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ.

Графики объемного содержания $r_{\text{NOx расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла поворота коленчатого вала при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 2200$ мин⁻¹ и $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 2, а.

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота $r_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1250 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,80 г/м³ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 18,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $r_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана

$\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 965 ppm при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}} 1,39 \text{ г/м}^3$.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 950 ppm, максимальное значение массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,29 \text{ г/м}^3$ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 16,8^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 730 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 0,99 \text{ г/м}^3$. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 300 ppm или $0,51 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 24,0 %. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 235 ppm или $0,40 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота на 24,4 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 18,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $\Gamma_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1250 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$

составляет $1,80 \text{ г/м}^3$. При переходе на ЭТЭ $\gamma_{\text{NOx теор}}$ составляет 948 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет $1,29 \text{ г/м}^3$.

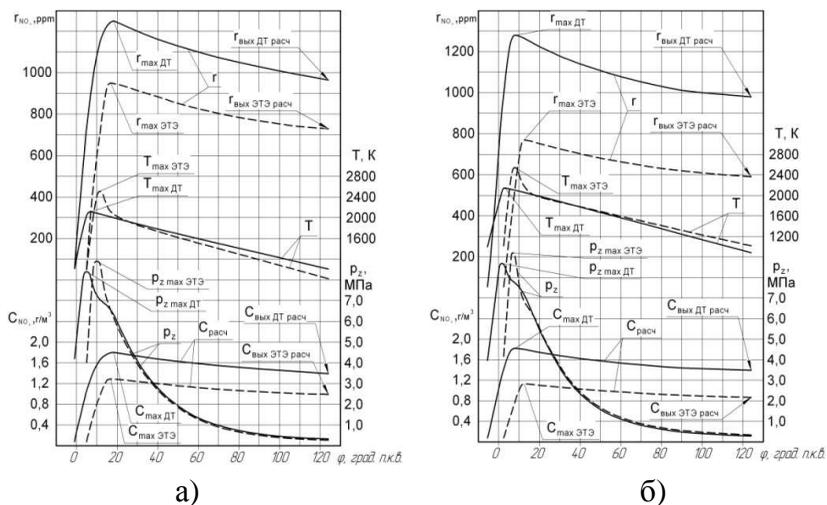


Рис. 2. Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание $\gamma_{\text{NOx расч}}$ и массовую концентрацию $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к. в двигателе при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ: а) $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$; б) $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,76 \text{ МПа}$
 — — дизельный процесс; - - - - ЭТЭ

Разница между значениями объемного содержания $\gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\phi = 18,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 24,1 %.

Графики объемного содержания $\gamma_{\text{NOx расч}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на

ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 2, б.

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1280 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,82 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 8,0^\circ$ п. к. в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п. к. в. после ВМТ составляет 980 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}}$ 1,4 г/м³.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ составляет 770 ppm, максимальное значение массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,13 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 12,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 592 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}}$ 0,87 г/м³. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 510 ppm или 0,69 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 39,8 %. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 388 ppm или 0,53 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота на 39,6 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 8,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $\gamma_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1280 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,82 \text{ г/м}^3$. При переходе на ЭТЭ $\gamma_{\text{NOx теор}}$ составляет 530 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет $0,78 \text{ г/м}^3$. Разница между значениями объемного содержания $\gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 8,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 58,6 %.

На рис. 3 представлены графики влияния применения ЭТЭ на объемное содержание γ_{NOx} и массовую концентрацию C_{NOx} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при установившемся УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ до ВМТ.

Графики объемного содержания $\gamma_{\text{NOx опыт}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 3, а.

Как видно из графиков, максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1360 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,96 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 10,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,$

0° п.к.в. после ВМТ составляет 1045 ppm при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ 1,49 г/м³.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 1050 ppm, максимальное значение массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1,41 г/м³, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 14,4^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 800 ppm, при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}}$ 1,09 г/м³. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 310 ppm или 0,55 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 22,8 %. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 245 ppm или 0,40 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота на 23,4 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 10,0^\circ$ п.к.в. после в.м.т., при работе на ДТ $\Gamma_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1360 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1,96 г/м³. При переходе на ЭТЭ $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ составляет 918 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет 1,25 г/м³.

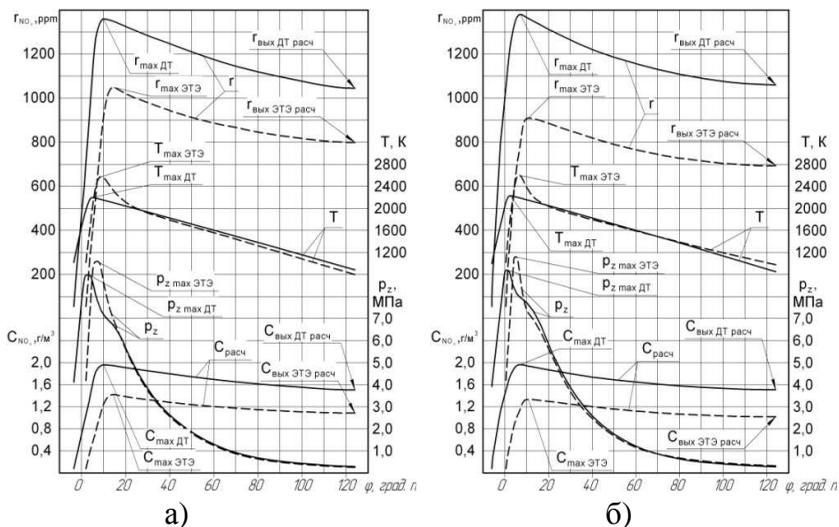


Рис. 3. Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание γ_{NO_x} и массовую концентрацию C_{NO_x} оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ до ВМТ: а) $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$; б) $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,69 \text{ МПа}$; — — дизельный процесс; - - - - ЭТЭ

Разница между значениями объемного содержания $\gamma_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 14,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 32,5 %. Графики объемного содержания $\gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 3, б. Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1380 ppm, максимальная

массовая концентрация оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,96 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 7,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 1060 ppm , при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 1,51 \text{ г/м}^3$.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ составляет 910 ppm , максимальное значение массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,33 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 10,8^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 795 ppm , при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 1,02 \text{ г/м}^3$. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 470 ppm или $0,63 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на $34,1 \%$. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 265 ppm или $0,49 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота на $25,0 \%$.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала,

соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 7,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $\Gamma_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1380 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,96 \text{ г/м}^3$. При переходе на ЭТЭ $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ составляет 800 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет $1,17 \text{ г/м}^3$. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 7,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 42,0 %. На рис. 4 представлены графики влияния применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание $\Gamma_{\text{NOx расч}}$ и массовую концентрацию $C_{\text{NOx расч}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при установочном УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ до ВМТ. Графики объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx опыт}}$, массовой концентрации $C_{\text{NOx опыт}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 4, а. Как видно из графиков, максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1380 ppm, максимальная массовая концентрация $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,99 \text{ г/м}^3$, при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 8,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 1060 ppm при массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}} 1,53 \text{ г/м}^3$. При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ в цилиндре составляет 1180 ppm, максимальное значение массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,60 \text{ г/м}^3$ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 12,5^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 910 ppm при массовой кон-

центрации оксидов азота $C_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ 1,24 г/м³. Разница между максимальными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 200 ppm или 0,39 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$ оксидов азота на 14,5 %. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 150 ppm или 0,29 г/м³. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$ оксидов азота на 14,2 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NO}_x \text{ max теор}} = 8,2^\circ$ п.к.в. после в.м.т. при работе на ДТ $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ max теор}}$ составляет 1380 ppm, $C_{\text{NO}_x \text{ max теор}}$ составляет 1,99 г/м³. При переходе на ЭТЭ $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ составляет 967 ppm, $C_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ составляет 1,33 г/м³. Разница между значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля при работе на ЭТЭ при $\varphi = 8,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 29,9 %.

Графики объемного содержания $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$, массовой концентрации $C_{\text{NO}_x \text{ опыт}}$ оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ и $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ до ВМТ представлены на рис. 4, б.

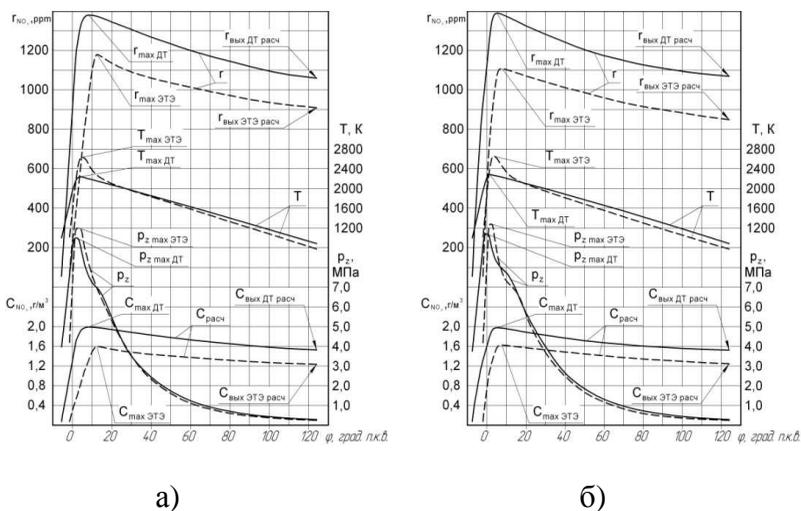


Рис. 4. Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание $\gamma_{\text{NOx}} \text{ расч}$ и массовую концентрацию $C_{\text{NOx}} \text{ расч}$ оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в при $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$ до ВМТ: а – $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,64 \text{ МПа}$; б – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,76 \text{ МПа}$;
 — — — — дизельный процесс, - - - - ЭТЭ

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота $\gamma_{\text{NOx}} \text{ max расч}$ в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1390 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота $C_{\text{NOx}} \text{ max расч}$ составляет $1,98 \text{ г/м}^3$ при $\phi_{\text{NOx}} \text{ max расч} = 5,2^\circ \text{ п.к.в.}$ после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре $\gamma_{\text{NOx}} \text{ вых расч}$ в момент открытия выпускного клапана $\phi_{\text{NOx}} \text{ вых расч} = 124,0^\circ \text{ п.к.в.}$ после ВМТ составляет 1070 ppm при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx}} \text{ вых расч} 1,52 \text{ г/м}^3$.

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота в цилиндре $r_{\text{NOx max расч}}$ составляет 1110 ppm, максимальное значение массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx max расч}}$ составляет $1,63 \text{ г/м}^3$ при $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 7,6^\circ$ п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота $r_{\text{NOx вых расч}}$ в цилиндре в момент открытия выпускного клапана $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 850 ppm при массовой концентрации оксидов азота $C_{\text{NOx вых расч}} 1,25 \text{ г/м}^3$. Разница между максимальными значениями объемного содержания $r_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота в цилиндре составляет 280 ppm или $0,035 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение максимальных значений объемного содержания $r_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 20,1 %. Разница между значениями объемного содержания $r_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 220 ppm или $0,27 \text{ г/м}^3$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота на 20,6 %.

Для сравнимости показателей содержания оксидов азота в цилиндре дизеля при переходе с ДТ на ЭТЭ рассмотрим значения объемного содержания $r_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре для постоянного объема цилиндра, т.е. для одинакового положения коленчатого вала. При положении коленчатого вала, соответствующего $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 5,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ $r_{\text{NOx max теор}}$ составляет 1390 ppm, $C_{\text{NOx max теор}}$ составляет $1,98 \text{ г/м}^3$. При переходе на ЭТЭ $r_{\text{NOx теор}}$ составляет 1076 ppm, $C_{\text{NOx теор}}$ составляет $1,58 \text{ г/м}^3$. Разница между значениями объемного содержания $r_{\text{NOx теор}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx теор}}$ оксидов азота в цилиндре дизеля

при работе на ЭТЭ при $\varphi = 5,2^\circ$ п.к.в. после ВМТ составляет 22,6 %.

Таким образом, при работе дизеля на оптимальном установочном УОВТ на ЭТЭ происходит уменьшение максимальных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx max расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx max расч}}$ оксидов азота на 24,0 % при номинальной частоте вращения коленчатого вала и на 39,8 % при частоте вращения соответствующей максимальному крутящему моменту. Разница между выходными значениями объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота в цилиндре в момент открытия выпускного клапана составляет 235 ppm или $0,40 \text{ г/м}^3$ при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ и 388 ppm или $0,53 \text{ г/м}^3$ при $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$. Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания $\Gamma_{\text{NOx вых расч}}$ и массовой концентрации $C_{\text{NOx вых расч}}$ оксидов азота на 24,4 % при номинальной частоте вращения коленчатого вала и на 39,6 % при частоте вращения соответствующей максимальному крутящему моменту.

Список литературы

1. Хачеян, А. С. Применение спиртов в дизелях // Двигателестроение. – 1984 г., – № 8. – С. 30 – 34
2. Лиханов, В. А. Снижение токсичности автотракторных дизелей./ В. А. Лиханов, А. Н. Сайкин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Колос, 1994. – 224 с.
3. Звонов, В. А. Относительная агрессивность вредных веществ и суммарная токсичность отработанных газов / В. А. Звонов, А. С. Заигрев, Ю. В. Азарова. // Автомобильная промышленность. – 1997. – № 3 – с.20 – 22.