

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТЭ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ, ОБЪЕМНОЕ СОДЕРЖАНИЕ И МАССОВУЮ КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДОВ АЗОТА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ 4Ч 11,0/12,5 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛА ПОВОРОТА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА**

***Ключевые слова:** дизель, максимальный крутящий момент, номинальный режим, поворот коленчатого вала, экологические показатели, этанола-топливная эмульсия.*

***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 (4Ч 11,0/12,5), при работе на этанола-топливной эмульсии. Представлено исследование применения этанола-топливной эмульсии на экологические показатели, а также на показатели процесса сгорания дизельного двигателя на различных скоростных и нагрузочных режимах.*

В работе представлены результаты проведенных на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры ДВС Вятской ГСХА исследований по улучшению экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на этанола-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 являлось 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 индцирование 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 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  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$  до ВМТ.

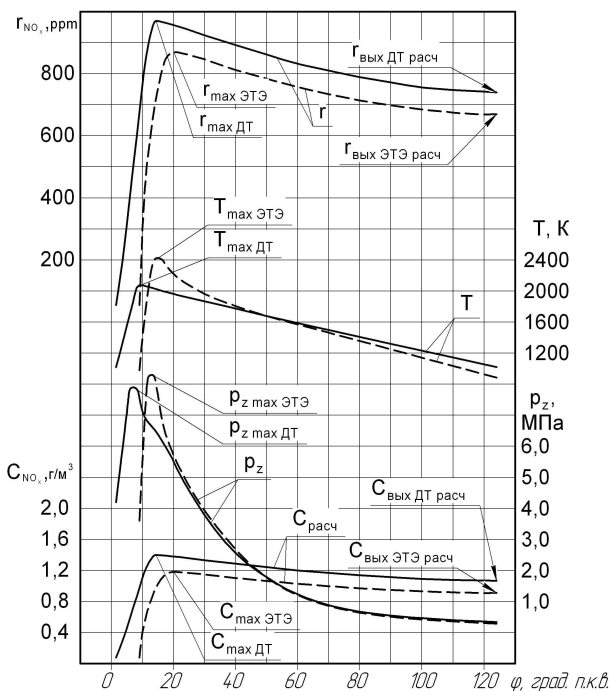


Рисунок 1 – Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание  $\gamma_{\text{NOx}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx}}$  оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$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

Для сравнения показателей содержания оксидов азота в цилиндре двигателя при переходе с ДТ на ЭТЭ объемное содержание  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  и массовая концентрация  $C_{\text{NOx расч}}$  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  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 970 ppm, максимальная массовая концентрация  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,40 \text{ г/м}^3$ , при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 14,4^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота  $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$  в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 740 ppm, при массовой концентрации  $C_{\text{NOx вых расч}} 1,07 \text{ г/м}^3$ .

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре составляет 870 ppm, максимальное значение массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,18 \text{ г/м}^3$ , при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 20^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание 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 равно 670 ppm, при массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} 0,91 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре составляет 100 ppm или  $0,22 \text{ г/м}^3$ . 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 11,5 %. 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 70 ppm или  $0,16 \text{ г/м}^3$ . 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 9,5 %.

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

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, 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 ВМТ представлены на рис. 2.

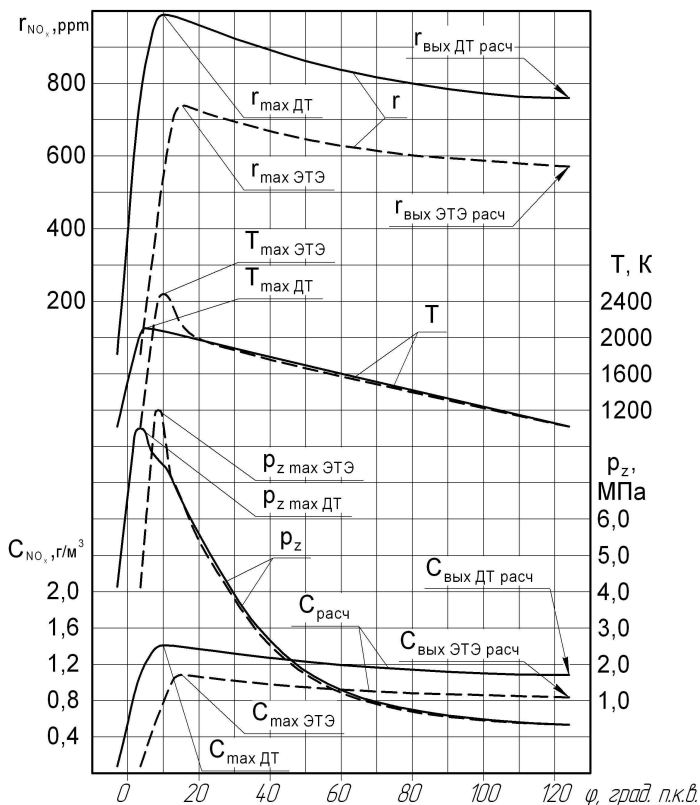


Рисунок 2 – Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание  $\gamma_{\text{NOx}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx}}$  оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 20^\circ$  до ВМТ: а –  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,64 \text{ МПа}$ ; б –  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$   
 ——— - дизельный процесс, - - - - ЭТЭ

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре при работе дизеля на ДТ со-

ставляет 990 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,41 \text{ г/м}^3$ , 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  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$  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  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,08 \text{ г/м}^3$ , при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 15,2^\circ$  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 равно 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 – 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 сравнения 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 ВМТ при работе на ДТ  $\gamma_{\text{NOx max теор}}$  составляет 990 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} - 1,41 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $\gamma_{\text{NOx теор}}$  равно 551 ppm,  $C_{\text{NOx теор}} - 0,78 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 10,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 44,3 %.

На рис. 3 представлены 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 поворота коленчатого вала при работе дизеля на ДТ и ЭТЭ для частоты вращения  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  до ВМТ.

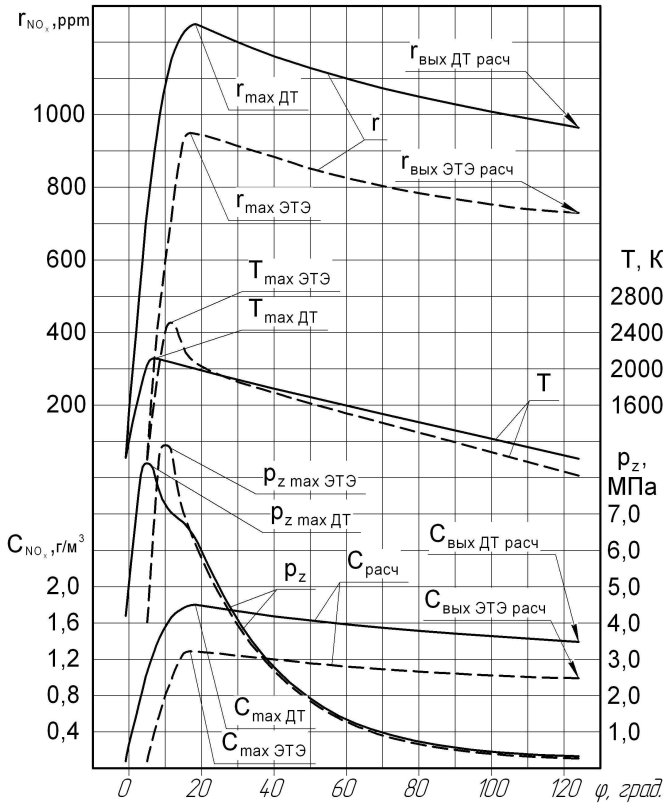


Рисунок 3 – Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание  $r_{NOx}$  расч и массовую концентрацию  $C_{NOx}$  расч оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в двигателя при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  до ВМТ при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,64 \text{ МПа}$ : — — — — дизельный процесс; - - - - ЭТЭ

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $r_{NOx \text{ max расч}}$  в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1250 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота  $C_{NOx \text{ max расч}} - 1,80 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{NOx \text{ max расч}} = 18,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота  $r_{NOx \text{ вых расч}}$  в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $\varphi_{NOx \text{ вых расч}} = 124^\circ$  п.к.в. после ВМТ равно 965 ppm при массовой концентрации  $C_{NOx \text{ вых расч}} 1,39 \text{ г/м}^3$ .

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $r_{NOx \text{ max расч}}$  в цилиндре составляет 950 ppm,

максимальное значение массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,29 \text{ г/м}^3$ , при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 16,8^\circ$  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 730 ppm при массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} 0,99 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $r_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре равна 300 ppm или  $0,51 \text{ г/м}^3$ . 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 24,0 %. 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 235 ppm или  $0,40 \text{ г/м}^3$ . Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания  $r_{\text{NOx вых расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx вых расч}}$  оксидов азота на 24,4 %.

Для сравнения 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  $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 18,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ  $r_{\text{NOx max теор}}$  составляет 1250 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} - 1,80 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $r_{\text{NOx теор}} = 948 \text{ ppm}$ ,  $C_{\text{NOx теор}} - 1,29 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 18,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 24,1 %.

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 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. 4.

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $r_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1280 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,82 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 8,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре  $r_{\text{NOx вых расч}}$  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  $C_{\text{NOx вых расч}} 1,4 \text{ г/м}^3$ .

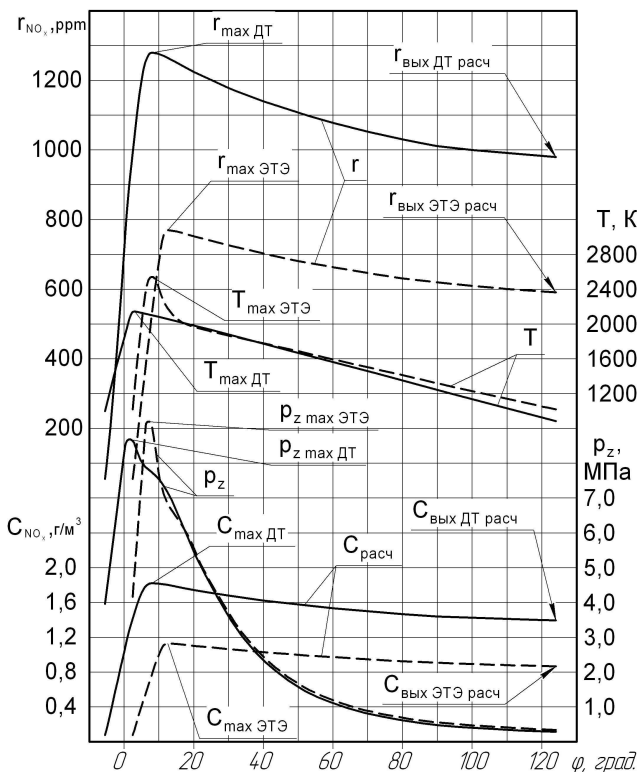


Рисунок 4 – Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание  $\gamma_{\text{NOx расч}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  до ВМТ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

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  $C_{\text{NOx max расч}} = 1,13 \text{ г/м}^3$  при  $\phi_{\text{NOx max расч}} = 12,5^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота  $\gamma_{\text{NOx вых расч}}$  в цилиндре в момент открытия выпускного клапана  $\phi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 592 ppm при массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} = 0,87 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре составляет 510 ppm или  $0,69 \text{ г/м}^3$ . 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 39,8 %. 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 388 ppm или  $0,53 \text{ г/м}^3$ . Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение выходных значений объемного содержания и массовой концентрации оксидов азота на 39,6 %.

Для сравнения 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  $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 8^\circ$  п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ  $r_{\text{NOx max теор}}$  составляет 1280 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} = 1,82 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $r_{\text{NOx теор}} = 530$  ppm,  $C_{\text{NOx теор}} = 0,78 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 8,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 58,6 %.

На рис. 5 представлены графики объемного содержания  $r_{\text{NOx опыт}}$ , массовой концентрации  $C_{\text{NOx опыт}}$  оксидов азота, осредненной температуры и давления газов в цилиндре дизеля 4С11,0/12,5 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.

Как видно из графиков, максимальное расчетное значение объемного содержания оксидов азота  $r_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1360 ppm, максимальная массовая концентрация  $C_{\text{NOx max расч}} = 1,96 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 10,0^\circ$  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 1045 ppm при массовой концентрации  $C_{\text{NOx вых расч}} = 1,49 \text{ г/м}^3$ .

При работе дизеля на ЭТЭ максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $r_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре составляет 1050 ppm, максимальное значение массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}} = 1,41 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 14,4^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота в цилиндре  $r_{\text{NOx вых расч}}$  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  $C_{\text{NOx вых расч}} = 1,09 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $r_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре составляет 310 ppm или  $0,55 \text{ г/м}^3$ . Таким образом, при работе дизеля на ЭТЭ про-

исходит 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  $0,40 \text{ г/м}^3$ . 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 23,4 %.

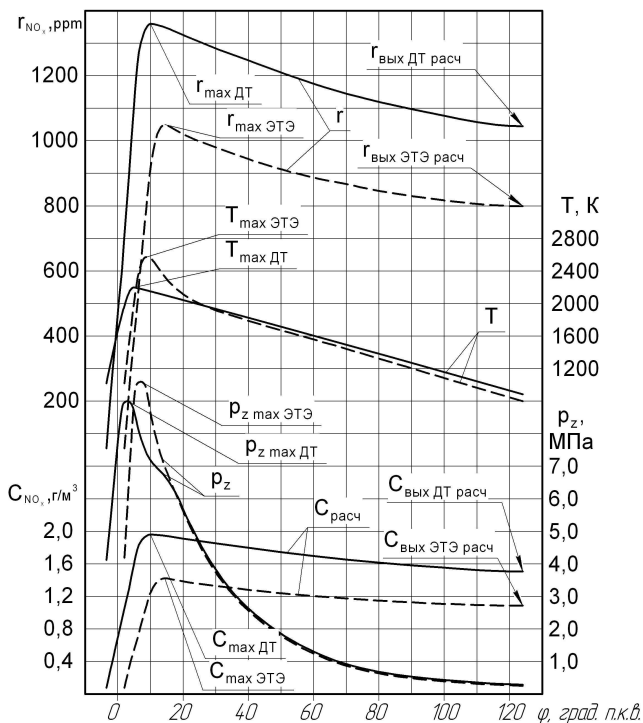


Рисунок 5 – Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание  $\gamma_{\text{NOx}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx}}$  оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$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

Для сравнения 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 ВМТ при работе на ДТ  $r_{\text{NOx max теор}}$  составляет 1360 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}}$  составляет  $1,96 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $r_{\text{NOx теор}} = 918 \text{ ppm}$ ,  $C_{\text{NOx теор}} = 1,25 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 14,5^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 32,5 %.

Графики объемного содержания  $r_{\text{NOx опыт}}$ , 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  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$  до ВМТ представлены на рис. 6.

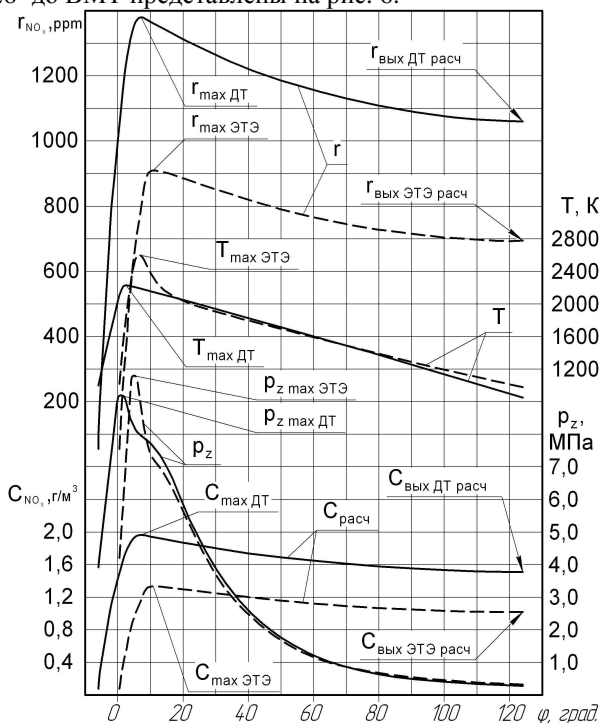


Рисунок 6 – Влияние применения ЭТЭ на объемное содержание  $r_{\text{NOx}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx}}$  оксидов азота в отработавших газах и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. двигателя при  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$  до ВМТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,69 \text{ МПа}$ : — — — дизельный процесс, - - - - ЭТЭ

Как видно из графиков, максимальное значение объемного содержания оксидов азота  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  в цилиндре при работе дизеля на ДТ составляет 1380 ppm, максимальная массовая концентрация оксидов азота  $C_{\text{NOx max расч}} = 1,96 \text{ г/м}^3$  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  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$  п.к.в. после ВМТ равно 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  $\gamma_{\text{NOx max расч}} = 910$  ppm, максимальное значение массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx max расч}} = 1,33 \text{ г/м}^3$  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  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124^\circ$  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 концентрацией  $C_{\text{NOx max расч}}$  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 сравнения 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  $\gamma_{\text{NOx max теор}} = 1380$  ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} = 1,96 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $\gamma_{\text{NOx теор}} = 800$  ppm,  $C_{\text{NOx теор}} = 1,17 \text{ г/м}^3$ . 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. 7 представлены 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.

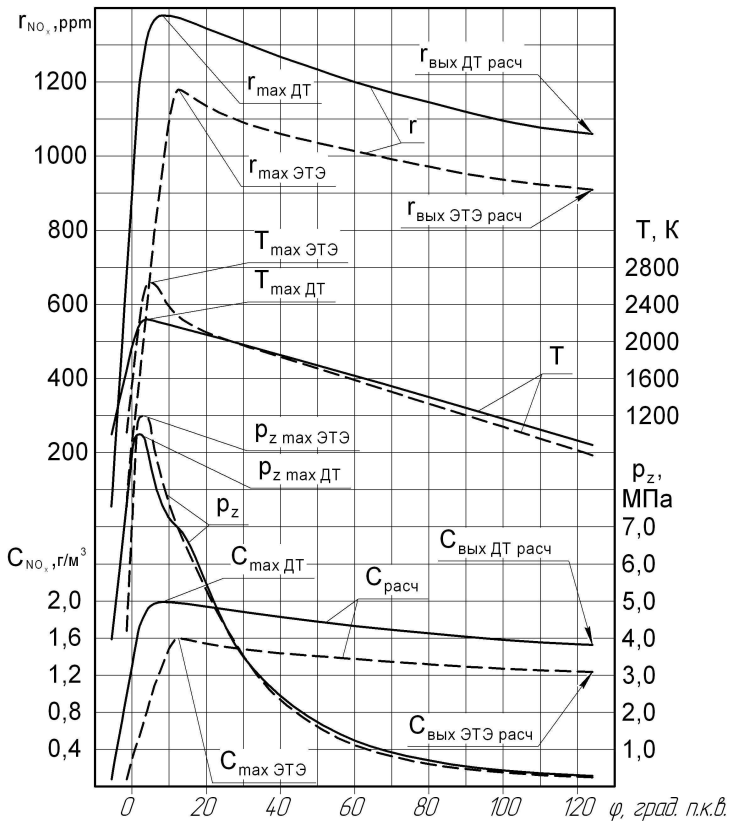


Рисунок 7 – Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание  $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ расч}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NO}_x \text{ расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в. при  $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$  до ВМТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,76 \text{ МПа}$ : — — — дизельный процесс, - - - - ЭТЭ

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 1380 ppm, максимальная массовая концентрация  $C_{\text{NO}_x \text{ max расч}}$  –  $1,99 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{\text{NO}_x \text{ max расч}} = 8,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ. Объемное содержание оксидов азота  $\Gamma_{\text{NO}_x \text{ вых расч}}$  в цилиндре в момент откры-

тия выпускного клапана  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ равно 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  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,60 \text{ г/м}^3$  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 концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} 1,24 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре составляет 200 ppm или  $0,39 \text{ г/м}^3$ . 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 14,5 %. 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 150 ppm или  $0,29 \text{ г/м}^3$ . 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 14,2 %.

Для сравнения 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  $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 8,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ  $\gamma_{\text{NOx max теор}}$  составляет 1380 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} - 1,99 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $\gamma_{\text{NOx теор}} = 967 \text{ ppm}$ ,  $C_{\text{NOx теор}} = 1,33 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 8,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 29,9 %.

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  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$  до ВМТ представлены на рис. 8.

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

крытия выпускного клапана  $\varphi_{\text{NOx вых расч}} = 124,0^\circ$  п.к.в. после ВМТ составляет 1070 ppm при массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} 1,52 \text{ г/м}^3$ .

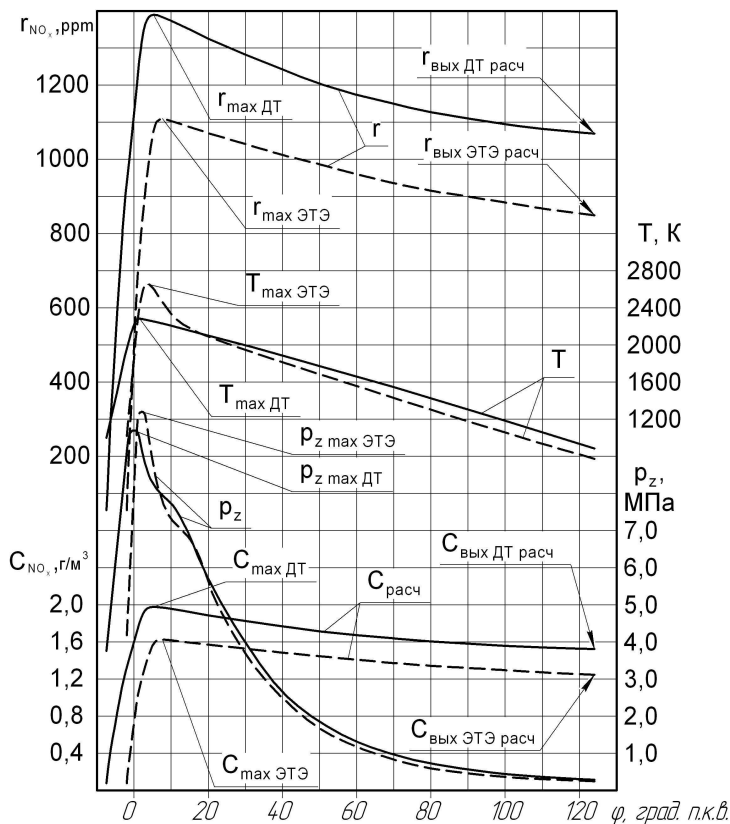


Рисунок 8 – Влияние применения ЭТЭ на показатели процесса сгорания, объемное содержание  $r_{\text{NOx расч}}$  и массовую концентрацию  $C_{\text{NOx расч}}$  оксидов азота в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения угла п.к.в при  $\Theta_{\text{впр}} = 29^\circ$  до ВМТ при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_c = 0,76 \text{ МПа}$ : — — дизельный процесс, - - - - ЭТЭ

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  $C_{\text{NOx max расч}} - 1,63 \text{ г/м}^3$  при  $\varphi_{\text{NOx max расч}} = 7,6^\circ$  п.к.в. Объем-

ное 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 850 ppm при массовой концентрации оксидов азота  $C_{\text{NOx вых расч}} = 1,25 \text{ г/м}^3$ . Разница между максимальными значениями объемного содержания  $\gamma_{\text{NOx max расч}}$  и массовой концентрации  $C_{\text{NOx max расч}}$  оксидов азота в цилиндре равна 280 ppm или  $0,035 \text{ г/м}^3$ . 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 20,1 %. 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 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 сравнения 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  $\varphi_{\text{NOx max теор}} = 5,2^\circ$  п.к.в. после ВМТ при работе на ДТ  $\gamma_{\text{NOx max теор}}$  составляет 1390 ppm,  $C_{\text{NOx max теор}} = 1,98 \text{ г/м}^3$ . При переходе на ЭТЭ  $\gamma_{\text{NOx теор}} = 1076 \text{ ppm}$ ,  $C_{\text{NOx теор}} = 1,58 \text{ г/м}^3$ . 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  $\varphi = 5,2^\circ$  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 концентрацией  $C_{\text{NOx вых расч}}$  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.



**RESEARCH OF APPLICATION FUEL AND ETHANOL MIX ON INDICATORS OF PROCESS OF COMBUSTION, THE VOLUME MAINTENANCE AND MASS CONCENTRATION CONNECTION OF NITROGEN IN THE DIESEL ENGINE CYLINDER 4Ч 11,0/12,5 DEPENDING ON THE CORNER OF TURN OF THE CRANKED SHAFT**

**Keywords:** *a diesel engine, the maximum twisting moment, a nominal mode, turn of a cranked shaft, ecological indicators, fuel and ethanol mix.*

**Annotation.** *In given article are considered problems of toxicity of diesel engines and possibility of expansion of fuel base of available modern diesel engines. Article contains results of the researches spent on engine D-240 (4Ч11,0/12,5), at work on fuel and ethanol mix. Research of application fuel and ethanol mix on ecological indicators, and also on indicators of process of combustion of the diesel engine on various high-speed and loading modes is presented.*

---

**ЗОНОВ АНТОН ВАСИЛЬЕВИЧ** – доцент кафедры «Начертательная геометрия и черчение», Вятский государственный университет, Россия, Киров, (antonzonov@yandex.ru).

**ZONOV ANTON VASIL`EVICH** – the senior lecturer of chair «Descriptive geometry and plotting», Vjatka state university, Russia, Kirov, (antonzonov@yandex.ru).

---