

ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ И СПИРТОВЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

В.А. Лиханов, О.П. Лопатин

Вятская государственная сельскохозяйственная академия

Представлены результаты исследований интегральной токсичности отработавших газов дизеля, работающего на природном газе и спиртовых эмульсиях. При этом определены режимы, характеризующие удельную токсичность дизеля в условиях его эксплуатации, и определены выбросы токсичных компонентов на этих режимах с учетом соответствующих им коэффициентов весомости. Результаты исследований удельных показателей токсичности отработавших газов дизеля в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 49 показывают, что при работе дизеля на природном газе с рециркуляцией отработавших газов и этанола-топливной эмульсии содержание в отработавших газах оксидов азота (NO_x) и диоксида углерода (CO) соответствует нормам "EURO 3", твердых частиц — "EURO 5", суммарных углеводородов (CH_x) — "EURO 2". При работе дизеля на метанола-топливной эмульсии содержание в отработавших газах NO_x , CH_x и CO соответствует нормам "EURO 3", твердых частиц — "EURO 5".

Ключевые слова: дизель, конвертация, природный газ, метанола-топливная эмульсия, этанола-топливная эмульсия, отработавшие газы, токсичность

Evaluation of the Integral Toxicity of Exhaust Gases of a Diesel Engine Operating on Natural Gas and Alcohol Emulsions

V.A. Likhanov, O.P. Lopatin

Vyatka State Agricultural Academy, 610017 Kirov, Russia

The results of studies of the integral toxicity of exhaust gases of a diesel engine operating on natural gas and alcohol emulsions are presented. At the same time, the regimes characterizing the specific toxicity of a diesel engine under its operating conditions were determined, and emissions of toxic components on these regimes were determined taking into account their weight coefficients. The results of research specific toxic diesel exhaust toxicity indicators, in accordance with the requirements of UNECE Regulation No. 49, show that when a diesel engine operates on natural gas with exhaust gas recirculation and an ethanol-fuel emulsion, the content of nitrogen oxides (NO_x) and carbon dioxide (CO) in the exhaust gases conforms to "EURO 3", particulate matter — "EURO 5", total hydrocarbons (CH_x) — "EURO 2". When the diesel engine is running on a methanol-fuel emulsion, the content of NO_x , CH_x and CO in the exhaust gases complies with the standards "EURO 3", particulate matter — "EURO 5".

Keywords: diesel, conversion, natural gas, methanol-fuel emulsion, ethanol-fuel emulsion, exhaust gases, toxicity

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-60-65

Одним из основных направлений совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в последние десятилетия является снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ). Снижение выбросов вредных веществ с ОГ осуществляется введением законодательных ограничений и внедрением мероприятий, обеспечивающих эти ограничения. Нормирование токсичных выбросов ДВС проводится как

с позиций эффективности защиты окружающей среды, так и с учетом состояния экономики страны, повышения уровня ее промышленного развития, улучшения условий организации эксплуатации и технического обслуживания [1–3]. Законодательные ограничения на регламентируемые вредные вещества устанавливаются нормативной документацией (национальными и международными стандартами), в которых приводятся требования

и положения, относящиеся к условиям проведения испытаний, области применения и сроку действия стандарта, средствам измерений, правилам обработки результатов испытаний и характеристике применяемого топлива. Учитывая область применения исследуемого дизеля 4Ч 11,0/12,5 (ММЗ, Республика Беларусь), рассмотрим как действующие в РФ стандарты, так и разработанные Правила ЕЭК ООН для этих дизелей, которые могут

устанавливаться на грузовые автомобили, тракторы и сельскохозяйственные машины [4–6].

К нормируемым токсичным компонентам дизелей грузовых автомобилей тракторов и сельскохозяйственных машин в соответствии с действующей в РФ документацией относятся NO_x , CH_x и CO . Кроме этих компонентов Правила ЕЭК ООН регламентируют выбросы твердых частиц (ТЧ) [4].

Нормы вредных выбросов с ОГ дизелей, в том числе работающих на природном газе, грузовых автомобилей полной массой от 3,5 до 12 т, приведены в табл. 1 [4].

Нормы "EURO-5" номинально введены в нашей стране с 1 января 2014 г. Фактически же переход для грузовых автомобилей и автобусов на этот стандарт осуществлен только с 1 января 2015 г. с момента официального вступления регламента Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств". С 1 января 2016 г. нормы "EURO-5" стали обязательными на территории РФ для всей новой автотехники отечественного и импортного производства без исключения.

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.2.05-97 [5] значения удельных выбросов дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин не должны быть более норм, приведенных в табл. 2.

В РФ для дизелей сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов, техники, предназначенной и пригодной для передвижения или перемещения по грунту, будь то по дороге или бездорожью, с установленной полезной мощностью более 18 кВт, но не более 560 кВт, эксплуатируемой в разных скоростных режимах, строительной техники, самоходных сельскохозяйственных машин и дорожно-ремонтной техники действуют Правила ЕЭК ООН № 96 [6], представленные в табл. 3 и 4.

Таблица 1. Нормы вредных выбросов с ОГ дизелей, в т.ч. работающих на природном газе, грузовых автомобилей полной массой от 3,5 до 12 т [4]
Table 1. Norms of harmful emissions from diesel exhaust gas, incl. working on natural gas, trucks with a gross weight of 3.5 to 12 tons [4]

| Нормативный документ | Год введения | | Нормы выбросов, г/(кВт·ч) | | | |
|---------------------------|--------------|------------|---------------------------|---------------|-------------|------|
| | в Европе | в России | NO_x | CH_x | CO | ТЧ |
| ОСТ 37.001.234-81 | – | 1982 | 18,35 | 3,4 | 9,5 | – |
| Правила ЕЭК ООН R 49 | 1989 | 1995 | 18,0 | 3,5 | 14,0 | – |
| Правила ЕЭК ООН R 49-01 | 1991 | 1996 | 14,4 | 2,4 | 11,2 | – |
| Правила R 49-02A "EURO-1" | 1994 | 1999 | 8,0 | 1,1 | 4,5 | 0,36 |
| Правила R 49-02B "EURO-2" | 1998 | 2006 | 7,0 | 1,1 | 4,0 | 0,15 |
| "EURO-3" | 2001 | 2008 | 4,5 | 0,6 | 2,0 | 0,10 |
| "EURO-4" | 2006 | 2010 | 3,5 | 0,5 | 1,5 | 0,08 |
| "EURO-5" | 2010 | 2015-н.в.* | 2,0 | 0,5 | 1,0 | 0,05 |
| "EURO-6" | 2015-н.в. | – | 0,4 | 0,13 | 1,0 | 0,01 |

*н.в. – настоящее время.

Таблица 2. Нормы удельных выбросов вновь изготовленных и капитально отремонтированных на ремонтных заводах (числитель) и находящихся в эксплуатации (знаменатель) дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.2.05-97 [5]

Table 2. Standards for specific emissions of newly manufactured and thoroughly repaired at repair plants (numerator) and in-service (denominator) diesel engines of tractors and self-propelled agricultural machines in accordance with the requirements of GOST 17.2.2.05-97 [5]

| Наименование вредных веществ | Удельные выбросы, г/(кВт·ч), при воздухообмене | |
|------------------------------|--|--------------|
| | неограниченном | ограниченном |
| NO_x | 18,0/18,0 | 9,0/9,0 |
| CH_x | 3,0/4,5 | 1,5/2,2 |
| CO | 10,0/14,0 | 4,0/5,6 |

Таблица 3. Нормы удельных выбросов вредных веществ с ОГ серийно выпускаемых дизелей, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторах и другой внедорожной технике, поставленных на производство до введения в действие в РФ Правил ЕЭК ООН № 96, 1 марта 2013 г. [6]

Table 3. Standards for specific emissions of harmful substances from exhaust gases of commercially available diesel engines intended for installation on agricultural and forestry tractors and other off-road equipment put into production before the entry into force in the Russian Federation of UNECE Regulation No. 96, March 1, 2013 [6]

| Диапазон мощности | Полезная мощность, кВт | CO | CH_x | NO_x | ТЧ |
|-------------------|------------------------|-------------|---------------|---------------|-----|
| | | г/(кВт·ч) | | | |
| E | $130 \leq N_e < 560$ | 3,5 | 1,0 | 6,0 | 0,2 |
| F | $75 \leq N_e < 130$ | 5,0 | | | 0,3 |
| G | $37 \leq N_e < 75$ | | 1,3 | 7,0 | 0,4 |
| D | $18 \leq N_e < 37$ | 5,5 | 1,5 | 8,0 | 0,8 |

Таблица 4. Нормы удельных выбросов вредных веществ с ОГ для всех проектируемых и модернизируемых дизелей, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторах и другой внедорожной технике, начиная с даты введения в действие в РФ Правил ЕЭК ООН №96 [6]

Table 4. Standards for specific emissions of harmful substances from exhaust gases for all designed and upgraded diesel engines designed for installation on agricultural and forestry tractors and other off-road equipment, starting from the date of entry into force of the UNECE Regulation No. 96 [6]

| Диапазон мощности | Полезная мощность, кВт | CO | $\text{CH}_x + \text{NO}_x$ | ТЧ |
|-------------------|------------------------|-------------|-----------------------------|-----|
| | | г/(кВт·ч) | | |
| H | $130 \leq N_e < 560$ | 3,5 | 4,0 | 0,2 |
| I | $75 \leq N_e < 130$ | 5,0 | | 0,3 |
| J | $37 \leq N_e < 75$ | | 4,7 | 0,4 |
| K | $19 \leq N_e < 37$ | 5,5 | 7,5 | 0,6 |

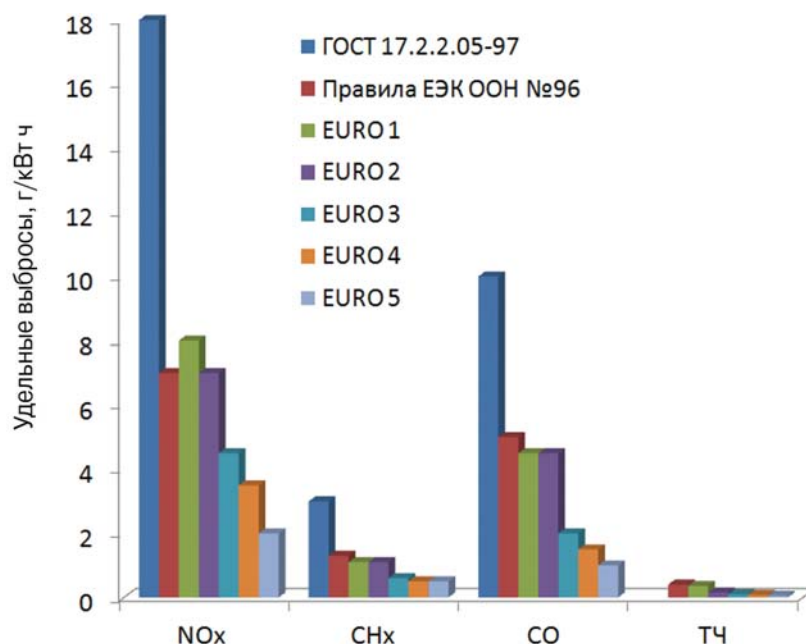


Рис. 1. Гистограмма действующих в РФ норм удельных выбросов вредных веществ для дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин, сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и внедорожной техники и грузовых автомобилей полной массой от 3,5 до 12 т

Fig. 1. A histogram of the current norms for specific emissions of harmful substances for diesel engines of tractors and self-propelled agricultural machines, agricultural and forestry tractors and off-road equipment and trucks with a gross weight of 3.5 to 12 tons

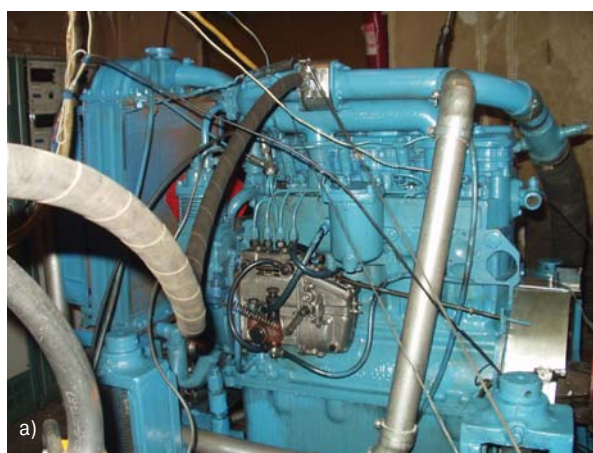


Рис. 2. Общий вид дизеля 4СН 11,0/12,5 (а), установленного на тормозном стенде SAK-N670 (б)
Fig. 2. General view of the diesel engine 4CH 11.0/12.5 (a) mounted on the brake stand SAK-N670 (b)

Действующие в настоящее время на территории РФ нормы для дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин [5], для дизелей сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и внедорожной техники [6] и нормы "EURO" для дизелей грузовых автомобилей полной массой от 3,5 до 12 т [4], регулирующие ограничения удельных выбросов исследуемого нами дизеля 4СН 11,0/12,5, для сравнения представлены на рис. 1 в виде гистограммы.

При анализе представленных данных на рис. 1 хорошо видно, что самые "мягкие" требования к удельным выбросам дизелей указанного назначения предъявляются требованиями ГОСТ 17.2.2.05-97, причем согласно этому ГОСТу не нормируются выбросы ТЧ, а наиболее "жесткие" требования обозначены нормами "EURO".

Методика исследований и оборудование

В настоящее время большинство способов оценки со-

держания вредных веществ в ОГ дизелей различаются программами исследований, моделирующих наиболее весомые режимы работы дизеля трактора или автотранспортного средства в обычных условиях его эксплуатации. А для оценки их токсичности используют такие различающиеся между собой методы, как исследование при установившихся режимах работы, обеспечивающих постоянство показателей работы дизеля, и исследование его при изменяющихся параметрах на переходных режимах.

Дизели грузовых автомобилей, тракторов, самоходных сельскохозяйственных машин и другой внедорожной техники при оценке выбросов вредных веществ испытываются на стенде, оборудованном нагружающим устройством и средствами измерений для контроля испытаний и сбора данных, необходимых для обработки результатов испытаний. Выбросы определяют при последовательной работе дизеля на установившихся режимах. Каждому режиму соответствует свой коэффициент весомости, который характеризует вклад данного режима в загрязнение окружающей среды при эксплуатации дизеля.

Для воспроизведения всех режимов испытываемый дизель 4СН 11,0/12,5 устанавливался на электротормозной стенд SAK-N670 с балансирующей маятниковой машиной (рис. 2).

Испытания дизеля проводились с соблюдением последовательности режимов в соответствии с их номерами. В каждом режиме двигатель работал предписанное время, завершая изменение частоты вращения и нагрузки в течение первых 20 с. Показания газового анализа и дымности ОГ регистрировались в каждом испытательном цикле с помощью автоматической системы газового анализа АС-ГА-Т (рис. 3).

В процессе выполнения каждого режима записывалась частота вращения двигателя и нагрузка, температура воздуха и разряжение на впуске, температура ОГ, расход топлива и воздуха, температура воздушного заряда, температура топлива и влажность.

Массовые расходы выбросов вредных веществ NO_x , CH_x и CO для каждого режима рассчитывали по формулам, г/ч:

$$G_{\text{NO}_x} = 0,001587 \text{NO}_x F_{\text{NO}_x} (G_T + G_B), \quad (1)$$

$$G_{\text{CO}_x} = 0,000479 \text{CH}_x (G_T + G_B), \quad (2)$$

$$G_{\text{CO}} = 0,000966 \text{CO} F_{\text{CO}} (G_T + G_B), \quad (3)$$

где NO_x , CH_x и CO — измеренные концентрации веществ, ppm; G_T и G_B — массовый расход топлива и воздуха соответственно; F_{NO_x} , F_{CO} — поправочные коэффициенты, характеризующие корректировку NO_x и CO с учетом температуры и влажности окружающего воздуха, так как выбросы этих веществ зависят от наружных атмосферных условий, вычисляемые по формулам:

$$F_{\text{NO}_x} = [1 + (0,044 G_T / G_B - 0,0038)(7 H_a - 75) + (0,0053 - 0,116 G_T / G_B) 1,8 (T_{\text{окр}} - 302)^{-1}], \quad (4)$$

$$F_{\text{CO}} = 1 - 1,83 (G_T / G_B), \quad (5)$$

где H_a — абсолютная влажность воздуха на впуске, определяемая по выражению

$$H_a = 6,22 R_a p_a / (p_b - p_a R_a 10^{-2}), \quad (6)$$

где R_a — относительная влажность воздуха на впуске, %; p_a — давление насыщенных паров воздуха на впуске, кПа; p_b — общее барометрическое давление, кПа.

Поскольку газовый анализ ОГ дизеля определяли с помощью автоматической системы АСГА-Т, которая измеряет также и концентрацию CO_2 , то для расчета массового расхода твердых частиц для каждого режима использовали метод углеродного баланса [4, 7], г/ч:

$$c_{\text{гч}} = M_f / M_s (G_{\text{едфв}} / 1000), \quad (7)$$

где M_f — уловленная масса пробы твердых частиц, г; M_s — масса пробы разбавленных ОГ, прошедших через фильтр для отбора вредных частиц, г; $G_{\text{едфв}}$

— эквивалентный массовый расход разбавленных ОГ во влажном состоянии, определяемый по выражению, кг/ч

$$G_{\text{едфв}} = G_{\text{едhw}} q, \quad (8)$$

где $G_{\text{едhw}}$ — массовый расход ОГ во влажном состоянии, кг/ч; q — коэффициент разбавления, определяемый из выражения

$$q = 206,5 G_T / [G_{\text{едфв}} (\text{CO}_{2,D} - \text{CO}_{2,A})], \quad (9)$$

где $\text{CO}_{2,D}$, $\text{CO}_{2,A}$ — концентрация CO_2 в разбавленных ОГ и воздухе, %.

Удельные выбросы g_{NO_x} , g_{CH_x} , g_{CO} и $g_{\text{гч}}$ с учетом значений весовых коэффициентов определялись по следующим формулам:

$$g_{\text{NO}_x} = \frac{\sum_{i=1}^k c_{\text{NO}_x i} W F_i / \sum_{i=1}^k N_{ei} W F_i,}{g_{\text{CH}_x} = \frac{\sum_{i=1}^k c_{\text{CH}_x i} W F_i / \sum_{i=1}^k N_{ei} W F_i,}{g_{\text{CO}} = \frac{\sum_{i=1}^k c_{\text{CO} i} W F_i / \sum_{i=1}^k N_{ei} W F_i,}{g_{\text{гч}} = \frac{\sum_{i=1}^k c_{\text{гч} i} W F_i / \sum_{i=1}^k N_{ei} W F_i, \quad (10)$$

где $W F_i$, N_{ei} — весовые коэффициенты и эффективная мощность соответствующего режима.

Поскольку в рассматриваемой области применения для исследуемого дизеля самые "жесткие" требования обозначены нормами "EURO", то целесообразно проведение исследований дизеля по европейскому тринадцатирежимному циклу испытаний (ESC) для грузовых автомобилей.

Экспериментальная часть

На рис. 4 показаны режимы автомобильного дизеля и соответствующие им коэффициенты весомости, %, для европейского тринадцатирежимного цикла испытаний (ESC) в установившихся режимах [4].

Цикл ESC в большей степени учитывает реальные условия эксплуатации дизелей грузовых автомобилей. Цикл включает двенадцать режимов работы дизеля с нагрузкой и режим холостого хода при минимальной частоте вращения коленчатого вала. С нагрузкой дизель испы-



Рис. 3. Общий вид оборудования газового анализа АСГА-Т

Fig. 3. General view of gas analysis equipment ASGA-T

тывается при четырех уровнях крутящего момента и при трех уровнях — с частотами вращения коленчатого вала, смещенными в сторону более низких частот вращения [4].

Испытания дизеля проводились с соблюдением последовательности всех 13 режимов в соответствии с их номерами, указанными в табл. 5.

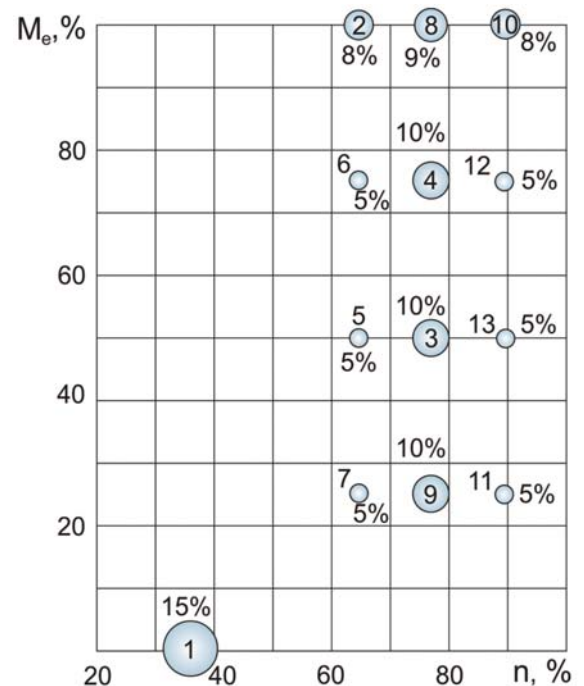


Рис. 4. Режимы испытаний дизеля 4СН 11,0/12,5, работающего на ПГ и СТЭ, и соответствующие им коэффициенты весомости для цикла ESC Правил ЕЭК ООН № 49: 1–13 – режимы испытаний

Fig. 4. Test modes for a 4CH 11.0/12.5 diesel engine operating on a steam generator and a power plant, and the corresponding weight coefficients for the ESC cycle of UNECE Regulation No. 49: 1–13 – test modes

Таблица 5. Исследуемые режимы испытаний дизеля 4Ч 11,0/12,5 по циклу ESC Правил ЕЭК ООН №49

Table 5. Investigated diesel test modes 4CH 11.0 / 12.5 for the ESC cycle of UNECE Regulation No. 49

| Номер режима | n , мин ⁻¹ | Нагрузка, % | Коэффициент весомости | Продолжительность режима, мин |
|--------------|-------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 800 | – | 0,15 | 4 |
| 2 | 1417 | 100 | 0,08 | 2 |
| 3 | 1695 | 50 | 0,10 | 2 |
| 4 | 1695 | 75 | 0,10 | 2 |
| 5 | 1417 | 50 | 0,05 | 2 |
| 6 | 1417 | 75 | 0,05 | 2 |
| 7 | 1417 | 25 | 0,05 | 2 |
| 8 | 1695 | 100 | 0,09 | 2 |
| 9 | 1695 | 25 | 0,10 | 2 |
| 10 | 1972 | 100 | 0,08 | 2 |
| 11 | 1972 | 25 | 0,05 | 2 |
| 12 | 1972 | 75 | 0,05 | 2 |
| 13 | 1972 | 50 | 0,05 | 2 |

Таблица 6. Показатели токсичности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5, работающего на ПГ и СТЭ, в соответствии с циклом ESC Правил ЕЭК ООН №49, г/кВт·ч

Table 6. The toxicity indicators of the exhaust gas of a 4CH 11.0/12.5 diesel engine operating on a steam generator and an electric power station, in accordance with the ESC cycle of UNECE Regulation No. 49, g/kW

| Топливо | g_{NOx} | g_{CHx} | g_{CO} | $g_{TЧ}$ |
|---------------|-----------|-----------|----------|----------|
| Дизельное | 8,98 | 0,76 | 3,68 | 0,520 |
| ПГ | 10,16 | 1,28 | 1,33 | 0,053 |
| ПГ с РОГ 10 % | 7,64 | 1,25 | 1,68 | 0,061 |
| ПГ с РОГ 20 % | 5,21 | 1,30 | 1,88 | 0,072 |
| МТЭ | 5,30 | 0,84 | 2,28 | 0,053 |
| ЭТЭ | 4,50 | 1,06 | 2,56 | 0,086 |

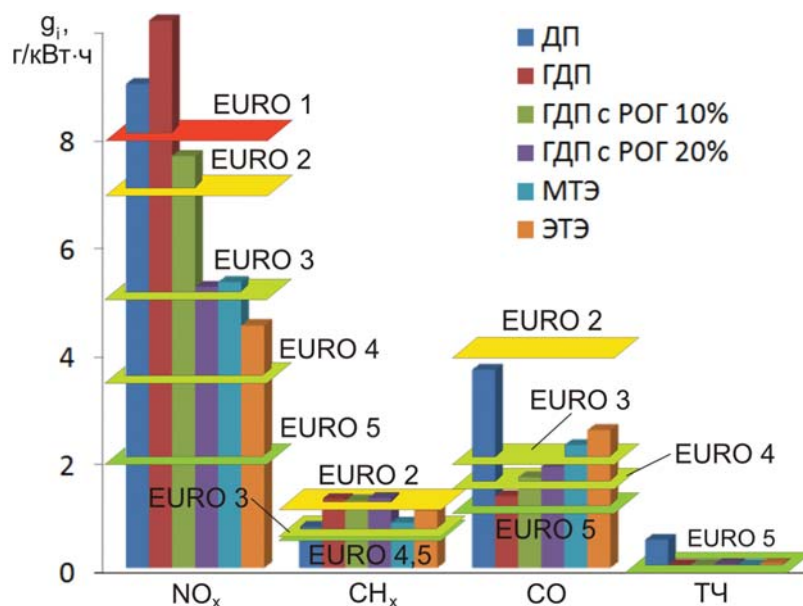


Рис. 5. Показатели токсичности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5, работающего на ПГ и СТЭ, в соответствии с циклом ESC Правил ЕЭК ООН № 49
Fig. 5. The toxicity indicators of the exhaust gas of a diesel engine 4CH 11.0/12.5, operating on GHG and STE, in accordance with the EC cycle of UNECE Regulation No. 49

Результаты исследований

Результаты исследований дизеля 4Ч 11,0/12,5, работающего на природном газе (ПГ), ПГ с рециркуляцией отработавших газов (РОГ, была применена для улучшения экологических показателей дизеля при работе на ПГ [8]) и спирто-топливных эмульсиях (СТЭ: метано-топливная эмульсия (МТЭ), этано-топливная эмульсия (ЭТЭ)), в соответствии с циклом ESC Правил ЕЭК ООН № 49 сведены в табл. 6.

Графическое изображение результатов исследований дизеля 4Ч 11,0/12,5, работающего на ПГ и СТЭ, по циклу ESC Правил ЕЭК ООН № 49 и соответствие их нормам "EURO" представлено в виде диаграммы на рис. 5.

Анализируя удельные показатели токсичности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5, предназначенного для грузовых автомобилей, представленные в соответствии с циклом ESC Правил ЕЭК ООН №49, можно констатировать следующее. При работе дизеля на ПГ с РОГ и ЭТЭ содержание в ОГ NO_x и CO соответствует нормам "EURO 3", ТЧ — "EURO 5", CH_x — "EURO 2". При работе дизеля на МТЭ содержание в ОГ NO_x , CH_x и CO соответствует нормам "EURO 3", ТЧ — "EURO 5".

Заключение

Проведенный анализ норм выбросов вредных веществ с ОГ дизелей для грузовых автомобилей, тракторов, самоходных сельскохозяйственных машин и другой внедорожной техники показывает, что для исследуемого дизеля 4Ч 11,0/12,5 (ММЗ, Республика Беларусь) попадающего как под требования Правил ЕЭК ООН №49, Правил ЕЭК ООН №96, так и под ГОСТ 17.2.2.05-97 нормы удельных выбросов вредных веществ имеют существенное отличие. Самые "мягкие" требования к удельным выбросам дизелей,

указанного назначения, предъявляются требованиями ГОСТ 17.2.2.05-97, а наиболее "жесткие" требования обозначены нормами "EURO".

Удельные показатели токсичности ОГ дизеля, полученные в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 96 и ГОСТ 17.2.2.05-97, показывают, что при работе его на

всех исследуемых альтернативных видах топлива (ПГ, ПГ с РОГ, МТЭ и ЭТЭ) происходит выброс вредных веществ в значениях, не превышающих требования рассматриваемых нормативов.

Результаты исследований удельных показателей токсичности ОГ дизеля в соответствии с более "жесткими"

требованиями Правил ЕЭК ООН № 49 показывают, что при работе дизеля на ПГ с РОГ и ЭТЭ содержание в ОГ NO_x и СО соответствует нормам "EURO 3", ТЧ — "EURO 5", CH_x — "EURO 2". При работе дизеля на МТЭ содержание в ОГ NO_x , CH_x и СО соответствует нормам "EURO 3", ТЧ — "EURO 5".

Литература

1. Liu J., Nan Y., Tavlarides L.L. Continuous production of Ethanol-based Biodiesel under subcritical conditions employing trace amount of homogeneous catalysts. *Fuel*. 2017. V. 193. P. 187–196.
2. Jeevahan J., Mageshwaran G., Joseph G.B., Raj R.B.D., Kannan R.T. Various strategies for reducing NOx emissions of Biodiesel Fuel used in conventional Diesel engines: a review. *Chemical Engineering Communications*. 2017. V. 204. №10. P. 1202–1223.
3. Tran D.-T., Chang J.-S., Lee D.-J. Recent insights into continuous-flow Biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification processes. *Applied Energy*. 2017. V. 185. P. 376–409.
4. ГОСТ Р 41.49-2003 (Правила ЕЭК ООН № 49). Единообразные предписания, касающиеся сертификации двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе, и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на сжиженном нефтяном газе, в отношении выбросов вредных веществ. М., Изд-во стандартов, 2004. 180 с.
5. ГОСТ 17.2.2.05-97. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выброса вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. М., Изд-во стандартов, 1998. 13 с.
6. ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН № 96). Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями. М., Изд-во стандартов, 2011. 65 с.
7. ГОСТ ISO 8178-4-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Измерение выброса продуктов сгорания. Часть 4. Испытательные циклы для двигателей различного применения на установившихся режимах. М., Стандартиформ, 2014. 23 с.
8. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants. *Thermal Engineering*. 2017. V. 64. № 12. P. 935–944.

References

1. Liu J., Nan Y., Tavlarides L.L. Continuous production of Ethanol-based Biodiesel under subcritical conditions employing trace amount of homogeneous catalysts. *Fuel*. 2017. V. 193. P. 187–196.
2. Jeevahan J., Mageshwaran G., Joseph G.B., Raj R.B.D., Kannan R.T. Various strategies for reducing NOx emissions of Biodiesel Fuel used in conventional Diesel engines: a review. *Chemical Engineering Communications*. 2017. V. 204. №10. P. 1202–1223.
3. Tran D.-T., Chang J.-S., Lee D.-J. Recent insights into continuous-flow Biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification processes. *Applied Energy*. 2017. V. 185. P. 376–409.
4. GOST R 41.49-2003 (Pravila EEK OON № 49). Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya sertifikatsii dvigatelei s vosplamneniem ot szhatiya i dvigatelei, rabotayushchikh na prirodnom gaze, a takzhe dvigatelei s prinuditel'nyim zazhiganiem, rabotayushchikh na szhizhennom neftyanom gaze, i transportnykh sredstv, osnashchennykh dvigatelyami s vosplamneniem ot szhatiya, dvigatelyami, rabotayushchimi na prirodnom gaze, i dvigatelyami s prinuditel'nyim zazhiganiem, rabotayushchimi na szhizhennom neftyanom gaze, v otnoshenii vybrosov vrednykh veshchestv. M., Izd-vo standartov, 2004. 180 s.
5. GOST 17.2.2.05-97. Okhrana prirody. Atmosfera. Normy i metody opredeleniya vybrosov vrednykh veshchestv s otrabotavshimi gazami dizelei, traktorov i samokhodnykh sel'skokhozyaistvennykh mashin. M., Izd-vo standartov, 1998. 13 s.
6. GOST R 41.96-2011 (Pravila EEK OON № 96). Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya dvigatelei s vosplamneniem ot szhatiya, prednaznachennykh dlya ustanovki na sel'skokhozyaistvennykh i lesnykh traktorakh i vnedorozhnoi tekhnike, v otnoshenii vybrosov vrednykh veshchestv etimi dvigatelyami. M., Izd-vo standartov, 2011. 65 s.
7. GOST ISO 8178-4-2013. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevye. Izmerenie vybrosov produktov sgoraniya. Chast' 4. Ispytatel'nye tsikly dlya dvigatelei razlichnogo primeneniya na ustanovivshikhsya rezhimakh. M., Standartinform, 2014. 23 s.
8. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants. *Thermal Engineering*. 2017. V. 64. № 12. P. 935–944.