

УДК 621.436

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ 4Ч 11,0/12,5 ПРИ РАБОТЕ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ, МЕТАНОЛО- И ЭТАНОЛО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

Лиханов В.А., Лопатин О.П.

ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Киров, e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

Проведены исследования с целью определения и оптимизации основных параметров работы дизеля размерности 4Ч 11,0/12,5 по влиянию применения природного газа (ПГ), рециркуляции отработавших газов (РОГ), метанола-топливной эмульсии (МТЭ) и этанола-топливной эмульсии (ЭТЭ) на мощностные и экономические характеристики, показатели токсичности и дымности отработавших газов (ОГ). В результате проведенных исследований стабильности и первичных испытаний на указанном дизеле определены оптимальные составы эмульсий, а при работе ПГ с РОГ определена оптимальная порция запального дизельного топлива. Обосновано значение оптимального установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) при работе на ПГ с РОГ, МТЭ и ЭТЭ, получены экспериментальные зависимости, доказывающие надежное снижение содержания сажи С, оксидов азота  $\text{NO}_x$ , оксида углерода СО и диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при сохранении мощностных показателей работы.

**Ключевые слова:** дизель, природный газ, рециркуляция отработавших газов, метанола-топливная эмульсия, этанола-топливная эмульсия, токсичность

## RESEARCH IS EFFECTIVE AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF DIESEL 4H 11,0/12,5 WHEN OPERATING ON NATURAL GAS WITH EXHAUST GAS RECIRCULATION, METHANOL AND ATENOLO-FUEL EMULSIONS

Likhanov V.A., Lopatin O.P.

Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

Conducted research to determine and optimize the main parameters of diesel performance dimension 4H 11,0/12,5 on the impact of the use of natural gas (NG) emissions, recirculation exhaust gas (REG), methanol-fuel emulsion (MFE) and ethanol-fuel emulsion (EFE) on power and economic characteristics, toxicity and smoke exhaust gas (EG). In the studies of stability and initial tests on the specified diesel engine the optimum compositions of emulsions, and when working on NG and NG with the REG the optimal portion of the ignition of diesel fuel. Proved the value of the optimal installation angle of the advancing of fuel injection (AAFI) working on the NG with the REG, of MFE and EFE, experimental relationships, proving a reliable decrease in the content of soot С, nitrogen oxides  $\text{NO}_x$ , carbon monoxide CO and carbon dioxide  $\text{CO}_2$  in the EG of a diesel engine 4H 11,0/12,5 while maintaining power performance.

**Keywords:** diesel, natural gas, recirculation exhaust gas, methanol-fuel emulsion, ethanol-fuel emulsion, toxicity

На фоне неизбежного увеличения цен на нефтепродукты и ухудшающейся экологической обстановкой связанной, прежде всего, с увеличением количества энергоустановок работающих на жидком нефтяном топливе происходит усиленное внедрение альтернативных источников энергии. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской государственной сельскохозяйственной академии, по улучшению экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения ПГ, РОГ, МТЭ и ЭТЭ.

Экспериментальная тормозная установка включала электротормозной стенд SAK-N670 с балансирной маятниковой машиной, дизель 4Ч 11,0/12,5, измерительную аппаратуру, газобаллонное оборудование, оборудование для приготовления эмульсий

(гомогенизатор MPW-302), систему РОГ. Отбор и анализ проб ОГ проводился на автоматической системе газового анализа АСГА-Т. Для проведения стендовых испытаний на ПГ (20% – запальная порция дизельного топлива (ДТ) и 80% – ПГ) была использована передвижная заправочная станция на базе тракторного прицепа 2ПТС-4 и газобаллонного оборудования [1, 2].

По результатам исследований стабильности МТЭ и ЭТЭ определено, что эмульсии с концентрацией спирта 50% оптимальны, с точки зрения устойчивости к процессам разрушения. На наш взгляд, это связано с предельным повышением концентрации спирта в эмульсии, которая в данном случае переходит из «обратной» в «прямоую», что делает невозможным воспламенение такого топлива в цилиндре дизеля. Это было подтверждено в ходе первичных испытаний на двигателе. Для всех исследуемых проб МТЭ и ЭТЭ определялась стабильность

к процессу коалесценции, характеризующаяся временем до полного разделения пробы на углеводородную и спиртовую фазы. В результате проведенных исследований стабильности и первичных испытаний на двигателе в качестве оптимальных для дизеля 4Ч 11,0/12,5 были приняты эмульсии следующего состава [3]:

– МТЭ: метанол – 25%, моющее-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5%, вода – 7%, ДТ – 67,5%;

– ЭТЭ: этанол – 25%, моющее-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5%, вода – 7%, ДТ – 67,5%.

Несмотря на высокие результаты стабильности при исследованиях МТЭ и ЭТЭ, использование эмульсий с большим содержанием метанола и этанола невозможно в связи с повышенной «жесткостью» и пропусками воспламенения при работе дизеля. Все дальнейшие испытания дизеля проводились на эмульсиях данного состава.

Регулировочные характеристики в зависимости от изменения установочного УОВТ дизеля 4Ч 11,0/12,5 на частоте вращения 2200 мин<sup>-1</sup> (номинальный скоростной режим) для мощностных и экономических показателей представлены на рис. 1 [4–6].

Анализ графиков, соответствующих работе газодизельного и газодизельного с РОГ процессов, показывает, что при ра-

боте по газодизельному и газодизельному с РОГ процессам установочный УОВТ по условию наилучшей экономичности составляет  $\Theta_{впр} = 23^\circ$ . Часовой расход топлива при газодизельном процессе и  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  составляет 11,4 кг/ч, а для газодизельного процесса с 10%-ной РОГ 11,7 кг/ч, что больше на 2,8%. Удельный эффективный расход топлива при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  составляет 205 г/кВт·ч, а при газодизельном процессе с 10%-ной РОГ 211 г/кВт·ч, что выше на 2,8%. При увеличении и уменьшении УОВТ на газодизельном процессе с РОГ происходит возрастание удельного эффективного расхода топлива.

Анализируя графики работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на МТЭ и ЭТЭ можно констатировать, что при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  достигаются также минимальные значения удельного эффективного расхода для МТЭ и ЭТЭ и удельного эффективного расхода ДТ в составе эмульсии. Здесь можно отметить, что меньшая теплота сгорания эмульсии, по сравнению с ДТ, ведет к повышению значений часового и удельного расходов топлива.

Таким образом, на установочном УОВТ  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  и номинальном режиме работы применение ПГ и РОГ, МТЭ и ЭТЭ приводит к значениям мощностных и экономических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5, представленным в табл. 1.

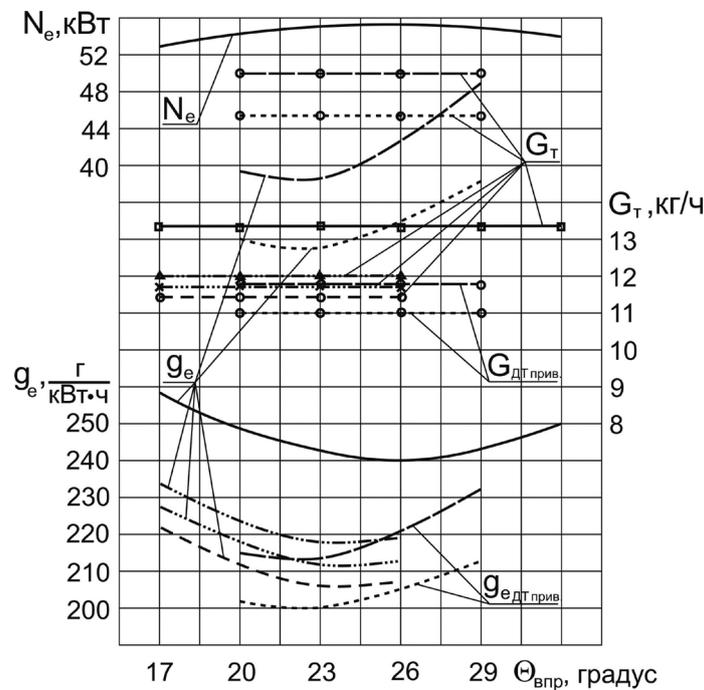


Рис. 1. Влияние применения ПГ и РОГ, МТЭ и ЭТЭ на мощностные и экономические показатели дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ;  
 ■ — дизельный процесс; ○ — газодизельный процесс; × — газодизельный с РОГ 10%; ▲ — газодизельный с РОГ 20%; ○ — ЭТЭ; □ — МТЭ

Таблица 1

Мощностные и экономические показатели работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочном УОВТ  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  и номинальном режиме ( $p_e = 0,64$  МПа,  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>)

Дизель 4Ч 11,0/12,5	Мощностные и экономические показатели				
	$N_{гв}$ , кВт	$g_{гв}$ , г/(кВт·ч)	$g_{гв}^{ДТ,прив.}$ , г/(кВт·ч)	$G_{гв}$ , кг/ч	$G_{ДТ,прив.}$ , кг/ч
Дизельный процесс	55,3	243	—	13,4	—
Применение ПГ		207 (снижение на 14,8%)	—	11,4 (снижение на 14,9%)	—
Применение ПГ и РОГ (10%)		212 (снижение на 12,8%)	—	11,7 (снижение на 12,7%)	—
Применение МТЭ		316 (увеличение на 23,1%)	213 (снижение на 12,3%)	17,5 (увеличение на 23,4%)	11,8 (снижение на 11,9%)
Применение ЭТЭ		297 (увеличение на 18,2%)	200 (снижение на 17,7%)	16,3 (увеличение на 17,8%)	11,0 (снижение на 17,9%)

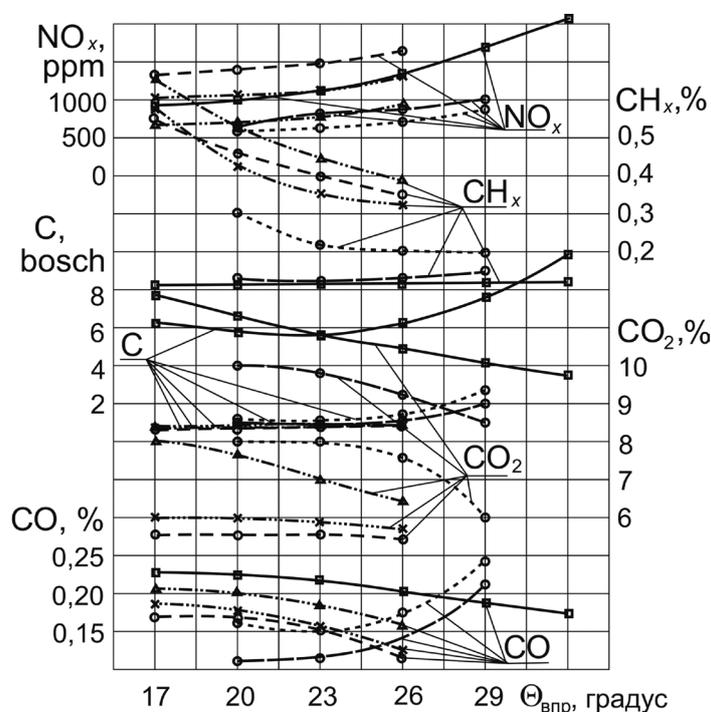


Рис. 2. Влияние применения ПГ и РОГ, МТЭ и ЭТЭ на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива при  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>;  $\square$  — дизельный процесс;  $\circ$  — газодизельный процесс;  $\times$  — газодизельный с РОГ 10%;  $\triangle$  — газодизельный с РОГ 20%;  $\diamond$  — ЭТЭ;  $\ominus$  — МТЭ

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения установочного УОВТ для частоты вращения 2200 мин<sup>-1</sup> представлено на рис. 2 [7–9].

Анализ графиков, соответствующих работе газодизельного процесса показывает, что применение ПГ приводит к значительному снижению содержания в ОГ

сажи, оксида и диоксида углерода, но вызывает рост суммарных углеводородов и оксидов азота. Применение же РОГ позволяет вернуть содержание оксидов азота в ОГ на уровень дизельного процесса. Так при работе газодизеля с 10%-ной РОГ при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  содержание  $NO_x$  в ОГ составляет 1100 ppm, что ниже на 24,1% при работе дизеля на ПГ [10].

Таблица 2

Показатели токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 на установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и номинальном режиме ( $p_e = 0,64$  МПа,  $n = 2200$  мин<sup>-1</sup>)

Дизель 4Ч 11,0/12,5	Содержание токсичных компонентов в ОГ				
	Оксиды азота, NO <sub>x</sub> , %	Сажа, С, ед. по шкале bosch	Диоксид углерода, CO <sub>2</sub> , %	Оксид углерода, CO, %	Суммарные углеводороды, СН <sub>x</sub> , %
Дизельный процесс	1100 ppm	5,8 ед. bosch	10,9%	0,21%	0,11%
Применение ПГ	1450 ppm (увеличение на 24,1%)	0,9 ед. bosch (снижение в 6,4 раза)	5,6% (снижение на 48,6%)	0,15% (снижение на 28,6%)	0,40% (увеличение в 3,6 раза)
Применение ПГ и РОГ (10%)	1100 ppm (соответствует ДТ)	1,0 ед. bosch (снижение в 5,8 раз)	5,9% (снижение на 45,9%)	0,16% (снижение на 23,8%)	0,36% (увеличение в 3,3 раза)
Применение МТЭ	775 ppm (снижение на 29,6%)	0,9 ед. bosch (снижение в 6,4 раза)	9,8% (снижение на 10,1%)	0,11% (снижение на 47,6%)	0,22% (увеличение в 2,0 раза)
Применение ЭТЭ	657 ppm (снижение на 40,3%)	1,2 ед. bosch (снижение в 4,8 раза)	8,0% (снижение на 26,6%)	0,15% (снижение на 28,6%)	0,12% (увеличение на 8,3%)

Анализ содержания сажи в отработавших газах при работе по газодизельному процессу с РОГ и без неё показывает, что при увеличении установочного угла опережения впрыскивания топлива содержание сажи практически не возрастает. Концентрация сажи при газодизельном процессе с РОГ и без неё ниже дизельного процесса в 4...5 раз. Содержание СО и СО<sub>2</sub> при работе по газодизельному процессу с РОГ так же уменьшается.

Содержание оксидов азота NO<sub>x</sub> в ОГ дизеля при работе на МТЭ и ЭТЭ на всех установочных УОВТ меньше, чем при работе на ДТ. Применение МТЭ и ЭТЭ так же позволяет значительно снизить содержание сажи, оксида и диоксида углерода в ОГ дизеля (табл. 2).

По результатам регулировочных характеристик в зависимости от изменения установочного УОВТ был выбран в качестве оптимального для газодизельного, газодизельного с РОГ процессов, для работы на МТЭ и ЭТЭ установочный УОВТ 23 градуса до верхней мертвой точки по мениску. Поскольку двигатель не имеет какого-либо устройства для быстрого изменения установочного УОВТ, это же значение рекомендовано и для дизельного процесса.

Таким образом, применение на дизеле 4Ч 11,0/12,5 ПГ с РОГ, МТЭ и ЭТЭ позволяет в достаточной мере снизить содержание в ОГ сажи С, оксидов азота NO<sub>x</sub>, оксида углерода СО и диоксида углерода СО<sub>2</sub> при сохранении мощностных показателей работы.

#### Список литературы

1. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Применение природного газа и рециркуляции на тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2014. – № 6. С. 7–9.
2. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля с турбонаддувом путем применения природного газа // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 1. – С. 11–13.
3. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4. – С. 14–16.
4. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Образование и нейтрализация оксидов азота в цилиндре газодизеля: Монография. – Киров: Вятская ГСХА, 2004. – 106 с.
5. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения природного газа и рециркуляции // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 6. – С. 7–9.
6. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля путем применения этанола-топливной эмульсии // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2013. – № 2. – С. 6–7.
7. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2011. – № 2. – С. 6–7.
8. Лопатин О.П., Лиханов В.А. Улучшение эксплуатационных показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 путем применения этанола-топливной эмульсии // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Т. 4, № 16. – С. 170–173.
9. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение эксплуатационных показателей тракторного дизеля Д-240 путем применения этанола-топливной эмульсии // Пермский аграрный вестник. – 2013. – № 1. – С. 29–32.
10. Пат. RU 2260706 С1. Устройство для регулирования перепуска отработавших газов во впускной трубопровод двигателя внутреннего сгорания / В.А. Лиханов, О.П. Лопатин, 2004. – 4 с.