

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ НА СПИРТО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

RESEARCH OF HIGH-SPEED OPERATION MODES OF A TRACTOR DIESEL ON ALCOHOL-FUEL EMULSIONS

В.А. ЛИХАНОВ, д.т.н.
О.П. ЛОПАТИН, к.т.н.

Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Россия, nirs_vsaa@mail.ru

V.A. LIHANOV, DSc in Engineering
O.P. LOPATIN, PhD

Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia,
nirs_vsaa@mail.ru

В работе обоснована необходимость использования спирто-топливных эмульсий как экологических энергоносителей для тракторных дизелей. При этом исследованы такие возобновляемые экологические источники энергии, как метиловый и этиловый спирты. С целью разработки, определения и оптимизации состава спирто-топливных эмульсий для тракторного дизеля 4Ч 11,0/12,5 проведены его испытания при работе на дизельном топливе, метаноле- и этаноле-топливных эмульсиях.

Экспериментальными исследованиями установлено, что для применения в тракторном дизеле 4Ч 11,0/12,5 экологических энергоносителей на основе смеси со спиртами были использованы эмульсии следующего состава: спирт (метанол CH_3OH или этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %. Представлены результаты экспериментальных исследований мощностных и экономических параметров, показателей токсичности и дымности отработавших газов дизеля, работающего на экологической смеси вышеуказанного состава. Перевод исследованного дизеля с нефтяного дизельного топлива на экологические энергоносители позволил при сохранении мощностных показателей снизить содержание в отработавших газах при работе на метаноле-топливной эмульсии – сажи в 6,9 раза, оксидов азота – на 41,3 %, диоксида углерода – на 6,7 %, оксида углерода – на 45,0 %; при работе на этаноле-топливной эмульсии: сажи – в 5,2 раза, оксидов азота – на 50,2 %, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода на 25,0 %. Сделан вывод о перспективности использования в тракторных дизелях таких экологических энергоносителей, как этиловый и метиловый спирты.

Ключевые слова: дизель, этанол, метанол, эмульсия, токсичность, отработавшие газы.

The necessity of using alcohol-fuel emulsions as ecological energy carriers for tractor diesel engines is proved in the work. At the same time, such renewable environmental energy sources as methyl and ethyl alcohols were investigated. With the aim of developing, determining and optimizing the composition of the alcohol-fuel emulsion for tractor diesel engine 4F 11,0/12,5 conducted its tests when working on diesel fuel, methanol - and ethanol-fuel emulsions. Experimental studies have established that for use in a 4F 11,0/12,5 tractor diesel engine environmental energy based on mixtures with alcohols were used emulsions of the following composition: alcohol (methanol CH_3OH or ethanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) is 25 %, detergent-dispersant additive succinimide C-5A – 0,5 %, water – 7 %, diesel fuel – 67,5 %. The results of experimental studies of power and economic parameters, indicators of toxicity and smoke content of the exhaust gases of the diesel operating on the ecological mixture of the above composition are presented. The transformation of the investigated diesel from petroleum diesel fuel to environmental energy allowed while maintaining the power factors to reduce the content in the exhaust gases when working on methanol-fuel emulsion - carbon black by 6,9 times, nitrogen oxides by 41,3 %, carbon dioxide by 6,7 %, carbon monoxide by 45,0 %; when operating on ethanol-fuel emulsion – carbon black by 5,2 times, nitrogen oxides by 50,2 %, carbon dioxide by 23,8 %, carbon monoxide by 25,0 %. The conclusion is made about the prospects of using such ecological energy carriers as ethyl and methyl alcohols in tractor diesel engines.

Keywords: diesel, ethanol, methanol, emulsion, toxicity, exhaust gases.

Введение

Глобальные проблемы современной цивилизации – энергетические и экологические – непосредственно связаны с развитием поршневых двигателей внутреннего сгорания как основных потребителей топлив нефтяного происхождения и источников загрязнения окружающей среды. Поскольку дизели нашли широчайшее распространение в качестве силового агрегата автотракторной техники, то естественно, они должны характеризоваться не только высокой топливной экономичностью, но и необходимой экологической безопасностью в соответствии с действующими нормами и правилами. Очевидно, что улучшение экологических параметров – одна из главных задач современного дизелестроения. Жесткие законодательные требования, введенные в настоящее время практически во всех развитых странах мира, предусматривают ограничения концентраций в продуктах сгорания тракторных дизелей таких вредных компонентов, как оксиды азота (NO_x), твердые частицы, оксида углерода (CO) и углеводородные соединения (CH_x). Из них первые два представляют наибольшую опасность для человека, флоры и фауны. В общем количестве твердых частиц преобладают частицы органического происхождения: углерод (чистая сажа) – примерно 70 % и полициклические ароматические углеводороды – около 25 %. Частицы неорганического происхождения (зола от присадок моторного масла, частицы солей и ржавчины, металлические частицы и керамическое волокно) составляют остальную часть (~5 %). Размеры частиц сажи, образованных в камерах сгорания дизелей, изменяются в пределах 0,01–10,0 мкм; при этом максимум распределения по размерам приходится приблизительно на 0,1 мкм. Кроме того, они являются основными генераторами излучения и играют заметную роль в радиационно-конвективном теплообмене в камере сгорания дизеля [1].

Экологическая безопасность тракторного дизеля во многом зависит от вида используемого в нем энергоносителя, поэтому наряду с традиционными нефтяными энергоносителями все чаще находят применение альтернативные виды топлива. Альтернативные энергоносители условно можно разделить на три категории. К первой категории можно отнести смесевые горючие, содержащие нефтяные топлива с добавками спиртов, растительных

масел, эфиров и других топлив нефтяного происхождения. Вторая категория включает синтетические жидкие топлива, получаемые при переработке твердого, жидкого или газообразного углеводородного сырья (природного газа и газовых конденсатов, угля, горючих сланцев и т.д.). Третью категорию составляют энергоносители нефтяного происхождения (спирты, растительные масла, эфиры, газообразные топлива и др.). Следует отметить, что альтернативные энергоносители третьей категории обычно имеют физико-химические свойства отличные от свойств штатного нефтяного дизельного топлива, которое является основным видом топлива для тракторных дизелей. Поэтому для их применения необходима адаптация к использованию в дизелях, а также к транспортировке, хранению и заправке на существующих автозаправочных станциях [2].

Необходимо отметить перспективность использования альтернативных смесевых энергоносителей в дизелях, не требующих внесения серьезных конструктивных изменений для их подачи в камеру сгорания топливоподающей аппаратуры. Привлекательность же топлив на основе спирта заключается в том, что их можно получить из любого углеводородного сырья – как минерального (природный газ, уголь, горючие сланцы), так и органического (картофель, свекла, другие сельскохозяйственные культуры, растительные отходы, водоросли и др.). Среди преимуществ спиртовых топлив необходимо также отметить наличие в их молекулах атомов кислорода, что позволяет заметно улучшить показатели токсичности отработавших газов (ОГ) дизеля [3].

Простейший из спиртов – метанол (CH_3OH) легко смешивается с водой в любых соотношениях, смешивается со спиртами, бензолом, ацетоном и другими органическими растворителями. Обладает высоким октановым числом 112 (по исследовательскому методу, табл. 1), поэтому его добавляют в автомобильные бензины. Другой характерный представитель спиртов – этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) смешивается с водой в любых пропорциях. Этанол и метанол являются привлекательными для использования в тракторных дизелях, поскольку они обладают хорошими экологическими качествами и возможностью получения из различных сырьевых ресурсов. Их производство возможно из биомассы, различных отходов, бытового и строительного мусора, бумаги. Основные

показатели, характеризующие этанол и метанол как топливо для дизеля, представлены в таблице 1.

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии проведены исследования тракторного дизеля на спирто-топливных эмульсиях (СТЭ, спирт (метанол или этанол) – 25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 %) [4].

Характеристики мощностных и экономических параметров работы дизеля изображены на рис. 1. Сравнивая эффективные показатели дизеля при работе по дизельному процессу (ДП) и на СТЭ, можно отметить, что в диапазоне изменения частот вращения от 1400 до

2400 мин⁻¹ применение СТЭ приводит к увеличению часового G_T и удельного эффективного g_e расходов топлива, снижению коэффициента избытка воздуха α , часового расхода воздуха $G_{в}$, эффективного коэффициента полезного действия η_e и приведенного к дизельному топливу часового $G_{ДТприв}$ и удельного эффективного $g_{eДТприв}$ расходов топлива.

Так, на номинальном режиме работы применение СТЭ приводит к соответствующим значениям мощностных и экономических показателей работы дизеля, указанным в таблице 2.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля представлено на рис. 2. При анализе графики токсичности и дымности ОГ дизеля при работе на СТЭ видно, что происходит сни-

Таблица 1

Основные показатели этанола и метанола

Топливо	Показатели				
	Эффективная мощность N_e , кВт	Расход топлива			
		удельный эффективный g_e , г/(кВт·ч)	удельный эффективный, приведенный к дизельному топливу $g_{eДТприв}$, г/(кВт·ч)	часовой G_T , кг/ч	часовой, приведенный к дизельному топливу $G_{ДТприв}$, кг/ч
Дизельное	55,2	243	–	13,4	–
МТЭ	55,4 (увеличение на 0,4 %)	316 (увеличение на 30,0 %)	213 (снижение на 12,3 %)	17,5 (увеличение на 30,6 %)	11,8 (снижение на 11,9 %)
ЭТЭ	55,0 (снижение на 0,4 %)	297 (увеличение на 22,2 %)	200 (снижение на 17,7 %)	16,3 (увеличение на 21,6 %)	11,0 (снижение на 17,9 %)

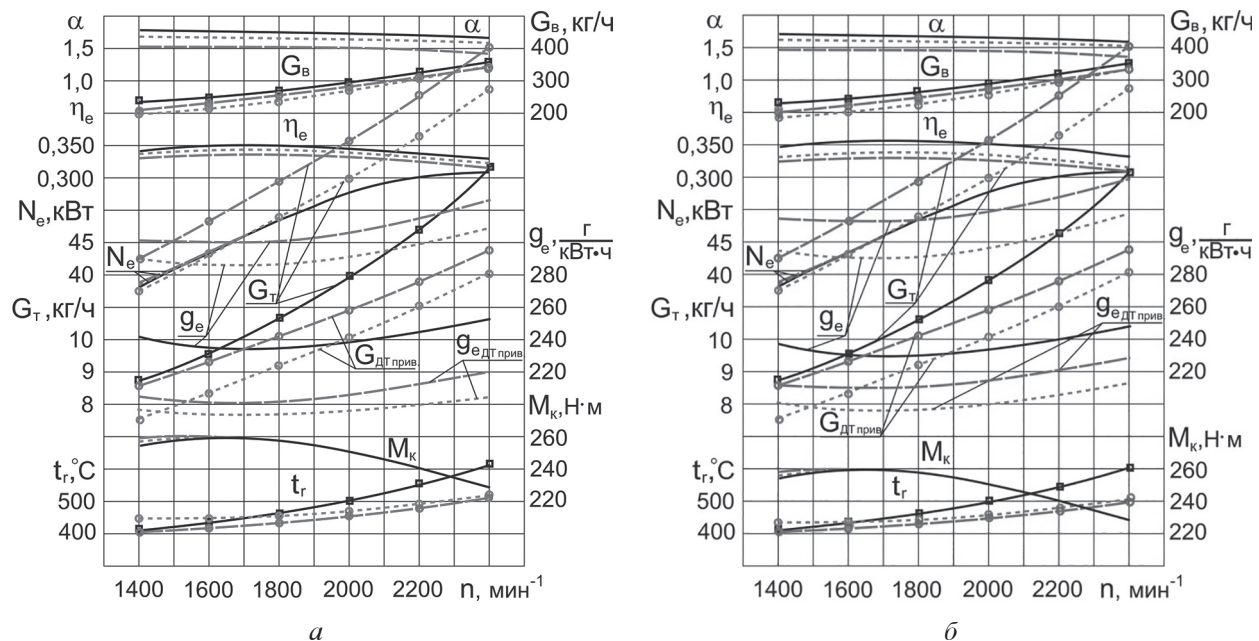


Рис. 1. Изменение мощностных и экономических параметров работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения:

$a - \Theta_{впр} = 23^\circ$; $b - \Theta_{впр} = 26^\circ$; \blacksquare — ДП; \circ — ЭТЭ; \diamond — МТЭ

Результаты исследований мощностных и экономических показателей работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели				
	Эффективная мощность N_e , кВт	Расход топлива			
		удельный эффективный g_e , г/(кВт·ч)	удельный эффективный, приведенный к дизельному топливу $g_{e \text{ дт прив}}$, г/(кВт·ч)	часовой G_T , кг/ч	часовой, приведенный к дизельному топливу $G_{\text{дт прив}}$, кг/ч
Дизельное	55,2	243	–	13,4	–
МТЭ	55,4 (увеличение на 0,4 %)	316 (увеличение на 30,0 %)	213 (снижение на 12,3 %)	17,5 (увеличение на 30,6 %)	11,8 (снижение на 11,9 %)
ЭТЭ	55,0 (снижение на 0,4 %)	297 (увеличение на 22,2 %)	200 (снижение на 17,7 %)	16,3 (увеличение на 21,6 %)	11,0 (снижение на 17,9 %)

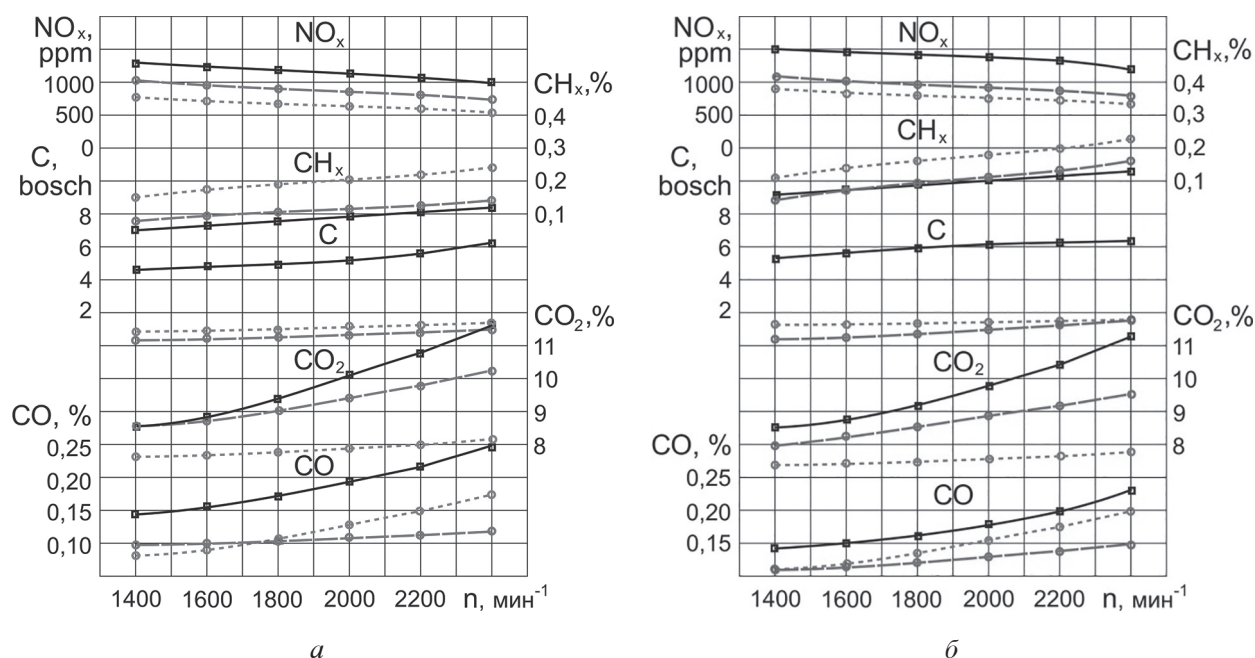


Рис. 2. Изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения:

$a - \Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$; $b - \Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$; $\blacksquare - \text{ДП}$; $\circ - \text{ЭТЭ}$; $\circ - \text{МТЭ}$

жение содержания во всем диапазоне исследования частот вращения оксидов азота NO_x , сажи C , диоксида углерода CO_2 и оксида углерода CO , при этом отмечен рост суммарных углеводородов CH_x [6].

Так, на номинальном режиме работы применение СТЭ приводит к соответствующим значениям показателей токсичности и дымности ОГ дизеля, представленным в таблице 3.

Выводы

При работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на СТЭ следующего состава: спирт (метанол или этанол) –

25 %, моюще-диспергирующая присадка сукцинимид С-5А – 0,5 %, вода – 7 %, дизельное топливо – 67,5 % установлена возможность сохранения мощностных показателей на уровне серийного дизеля. Так, при частоте вращения $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$: ДП – $N_e = 55,2 \text{ кВт}$; МТЭ – $N_e = 55,4 \text{ кВт}$ (увеличение на 0,4 %); ЭТЭ – $N_e = 55,0 \text{ кВт}$ (снижение на 0,4 %).

Дано перспективное решение улучшения экологических показателей дизеля путем применения СТЭ, позволяющее снизить содержание в ОГ при работе на МТЭ: оксидов азота – на 41,3 %, сажи – в 6,9 раза, диоксида углеро-

Результаты исследований показателей токсичности и дымности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 при оптимальных значениях $\Theta_{\text{впр}}$ и номинальном режиме ($n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,64 \text{ МПа}$)

Топливо	Показатели			
	Оксиды азота NO_x , ppm	Сажа С, ед. по шкале Bosch	CO_2 , %	СО, %
Дизельное	1320	6,2	10,5	0,20
МТЭ	775 (снижение на 41,3 %)	0,9 (снижение в 6,9 раза)	9,8 (снижение на 6,7 %)	0,11 (снижение на 45,0 %)
ЭТЭ	657 (снижение на 50,2 %)	1,2 (снижение в 5,2 раза)	8,0 (снижение на 23,8 %)	0,15 (снижение на 25,0 %)

да – на 6,7 %, оксида углерода на 45,0 %; при работе на ЭТЭ: оксидов азота – на 50,2 %, сажи – в 5,2 раза, диоксида углерода – на 23,8 %, оксида углерода – на 25,0 %.

Литература

1. Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet / K. Han, B. Yang, C. Zhao [et al.] // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. V. 70. P. 381–388.
2. An Overview: Energy Saving and Pollution Reduction by Using Green Fuel Blends in Diesel Engines / J.K. Mwangi, W.J. Lee, Y.C. Chang [et al.] // *Applied Energy*. 2015. V. 159. P. 214–236.
3. Alcohol-Diesel Fuel Combustion in the Compression Ignition Engine / W. Titak, S. Szwaja, K. Lukacs [et al.] // *Fuel*. 2015. V. 154. P. 196–206.
4. Likhanov 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.
5. Likhanov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 3. P. 1703–1709.
6. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.

International Journal of Applied Engineering Research. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.

References

1. Experimental Study on Evaporation Characteristics of Ethanol-Diesel blend Fuel Droplet / K. Han, B. Yang, C. Zhao [et al.] // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016. V. 70. P. 381–388.
2. An Overview: Energy Saving and Pollution Reduction by Using Green Fuel Blends in Diesel Engines / J.K. Mwangi, W.J. Lee, Y.C. Chang [et al.] // *Applied Energy*. 2015. V. 159. P. 214–236.
3. Alcohol-Diesel Fuel Combustion in the Compression Ignition Engine / W. Titak, S. Szwaja, K. Lukacs [et al.] // *Fuel*. 2015. V. 154. P. 196–206.
4. Likhanov 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.
5. Likhanov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 3. P. 1703–1709.
6. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. V. 13. № 5. P. 2936–2939.