

УДК 631.331.8
УДК 621.436 ; 631.3:662

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЭТАНОЛЕ И РАПСОВОМ МАСЛЕ

Лопатин О. П., доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия
E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований по улучшению экологических показателей отработавших газов (ОГ) тракторного дизеля путем применения в качестве топлива этанола и рапсового масла (РМ). Получены важные сведения о концентрации в ОГ токсичных компонентов (оксидов азота (NO_x), суммарных углеводородов (CH_x), монооксида (CO) и диоксида (CO_2) углерода, сажи (C) в зависимости от изменения нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. При этом установлены зависимости влияния режимов работы тракторной силовой установки на характеристики экологических показателей и определены их числовые значения. Представленные экспериментальные исследования наглядно демонстрируют возможность применения этанола и РМ в качестве перспективного альтернативного топлива для снижения токсичности и дымности ОГ.

Ключевые слова: силовая установка, этанол, рапсовое масло, токсичность, отработавшие газы, оксиды азота, суммарные углеводороды, диоксид углерода, оксид углерода, сажа, дымность

EXPERIMENTAL STUDIES OF A TRACTOR DIESEL ENGINE WORKING ON ETHANOL AND RAPESEED OIL

Lopatin O. P., doctor of technical sciences, professor
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia
E-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Annotation

The article presents the results of experimental studies on improving the environmental performance of tractor diesel exhaust gases by using ethanol and rapeseed oil as fuel. The authors obtained important information about the content of toxic components in exhaust gases (nitrogen oxides (NO_x), total hydrocarbons (CH_x), carbon monoxide (CO) and dioxide (CO_2), soot (C))

depending on changes in load and crankshaft speed. At the same time, the authors established the dependence of the influence of the operating modes of the tractor power plant on the characteristics of environmental indicators, and they determined their numerical values. The presented experimental studies clearly demonstrate the possibility of using ethanol and rapeseed oil as the promising alternative fuel to reduce the exhaust gases toxicity and smokiness.

Keywords: Keywords: power plant, ethanol, rapeseed oil, toxicity, exhaust gases, nitrogen oxides, total hydrocarbons, carbon dioxide, carbon monoxide, soot, smokiness

Озабоченность экологическими и энергетическими проблемами техники в агропромышленном секторе, возникающими в результате использования нефтяного моторного топлива, побуждает исследователей во всем мире искать пути их решения. Поскольку самый распространённый силовой агрегат трактора сельскохозяйственного назначения является дизельным, имеющим вследствие особенностей организации рабочего процесса в камере сгорания возможность работать на топливах широкого фракционного состава, то из всего многообразия существующих методов, позволяющих решать вопросы экологической безопасности дизелей с одновременной экономией потребляемого нефтяного моторного топлива, наиболее перспективно выглядит применение альтернативного топлива [1-3].

Поскольку актуальность применения альтернативного топлива в силовых агрегатах сегодня уже ни у кого не вызывает сомнения, то, разумеется, это обстоятельство заставляет ведущих производителей сельскохозяйственной техники если не инвестировать, то хотя бы думать о развитии технологий, способствующих применению различных альтернативных топлив в дизельных двигателях. Поиск новейших способов и перспективных технологий, направленных на улучшение экологических и энергетических показателей дизельных силовых установок и изучение конкуренции различных видов топлива (дизельное топливо, биотопливо, природный газ, спирты, эмульсии и др.) по показателям экологической эффективности, может стать существенным шагом в активизации развития и применения альтернативных моторных топлив [4-6]. Кроме того, переход на альтернативные виды топлива, не являющиеся продуктами переработки нефти, представляет собой одно из наиболее перспективных направлений повышения экологических показателей тракторных дизелей, в том числе в условиях агропромышленного комплекса.

Наиболее привлекательными в отношении улучшения экологической безопасности дизельных двигателей являются альтернативные топлива, менее склонные вследствие особенностей химического состава и определенных физических свойств к образованию токсичных компонентов при горении в условиях камеры сгорания. К таким топливам можно, например, отнести спирты и растительные масла [7-9].

Целью работы является улучшение экологических показателей тракторного дизеля путем применения этанола и рапсового масла (РМ).

В настоящее время опубликовано достаточно большое число актуальных научных исследований, направленных на улучшение экологических показателей дизельных силовых установок за счет применения в качестве моторного топлива спиртов и растительных масел [10-12]. Однако следует отметить, что углубленный анализ результатов научных исследований показывает, что отсутствуют глубокие экспериментальные исследования, направленные на сравнительные испытания тракторных дизельных силовых установок рабочим объемом до 5 л, работающих на этаноле и РМ, проведенные с должным учетом взаимосвязи экологических и эксплуатационных показателей и определением содержания в ОГ оксидов азота (NO_x), суммарных углеводородов (C_nH_m), оксида (CO) и диоксида углерода (CO_2) и сажевого содержания (C). И хотя данные вопросы широко освещены в литературе в теоретическом плане с применением различных современных форм моделирования, рассмотрение этой проблемы только с теоретической стороны не позволяет раскрыть некоторые вопросы, крайне важные

с точки зрения организации рабочего процесса тракторной дизельной силовой установки при применении в ней этанола и РМ [13-15].

В Вятском государственном агротехнологическом университете на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены экспериментальные стендовые испытания дизельного двигателя 2Ч 10,5/12,0 для работы на этаноле и РМ [16-18].

При проведении экспериментальных исследований, направленных на улучшение экологических показателей дизельной силовой установки и экономию нефтяного моторного топлива, применяли сравнительный метод и стандартные методики проведения стендовых испытаний двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в сочетании с современными методами экспериментальных и теоретических исследований. Эти методы заключались в проведении стендовых испытаний тракторной силовой установки при работе на этаноле и РМ на современном научном оборудовании с дальнейшей обработкой экспериментальных данных по передовым методикам ведущих НИИ и вузов, основанным на применении современных теорий рабочих процессов ДВС и программном обеспечении. При определении основных показателей работы дизельного двигателя по экспериментальным измерениям использовали общеизвестные аналитические зависимости.

Влияние нагрузки на экологические параметры дизельного двигателя представлено на рисунке 1. Результаты экспериментальных исследований тракторного дизеля на нагрузочной характеристике наглядно показывают, что применение этанола и РМ приводит к снижению концентрации оксидов азота (C_{NOx}) во всем исследуемом диапазоне. Это снижение может быть связано как с уменьшением времени интенсивного тепловыделения в камере сгорания дизельной силовой установки, так и с ростом зоны сгорания, которая по причине меньшей теплоты сгорания топливо-воздушной смеси имеет меньшие локальные температуры.

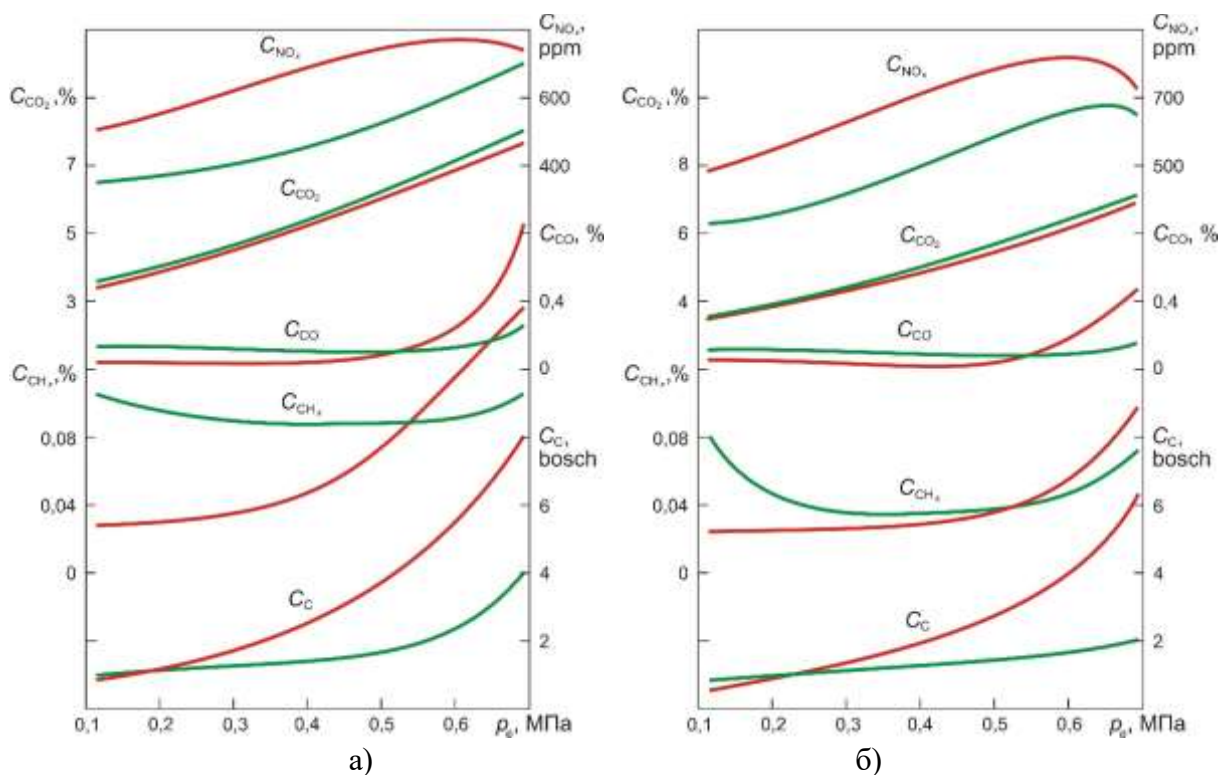


Рисунок 1. Влияние применения этанола и РМ в дизельном двигателе 2Ч 10,5/12,0 на экологические показатели в зависимости от нагрузки:

а) – $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$; б) – $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$;

— дизельное топливо; — этанол и РМ

Рост концентрации продуктов неполного сгорания суммарных углеводородов (C_{CH_x}) и оксида углерода (C_{CO}) на малых нагрузках при работе дизеля на этаноле и РМ обусловлен ухудшением показателей процесса сгорания. Но с ростом нагрузки концентрация CH_x и CO уменьшается и достигает минимума в диапазоне среднего эффективного давления p_e от 0,35 до 0,55 МПа, а на больших нагрузках при $p_e > 0,55$ концентрация продуктов неполного сгорания при работе двигателя на ДТ начинает превышать данные показатели работы дизеля на этаноле и РМ. С ростом нагрузки увеличивается цикловая подача этанола, который менее склонен к образованию большого количества несгоревших углеводородов CH_x .

Влияние частоты вращения на экологические параметры дизельного двигателя представлено на рисунке 2.

Частота вращения коленчатого вала влияет на содержание всех токсичных компонентов в ОГ. При уменьшении частоты вращения увеличивается продолжительность сгорания, а также длительность периода с большей температурой. Таким образом, концентрация NO_x уменьшается с ростом частоты вращения. Отметим, что при работе на этаноле и РМ значительно снижается концентрация NO_x в ОГ на всех исследуемых скоростных режимах по сравнению с работой на ДТ.

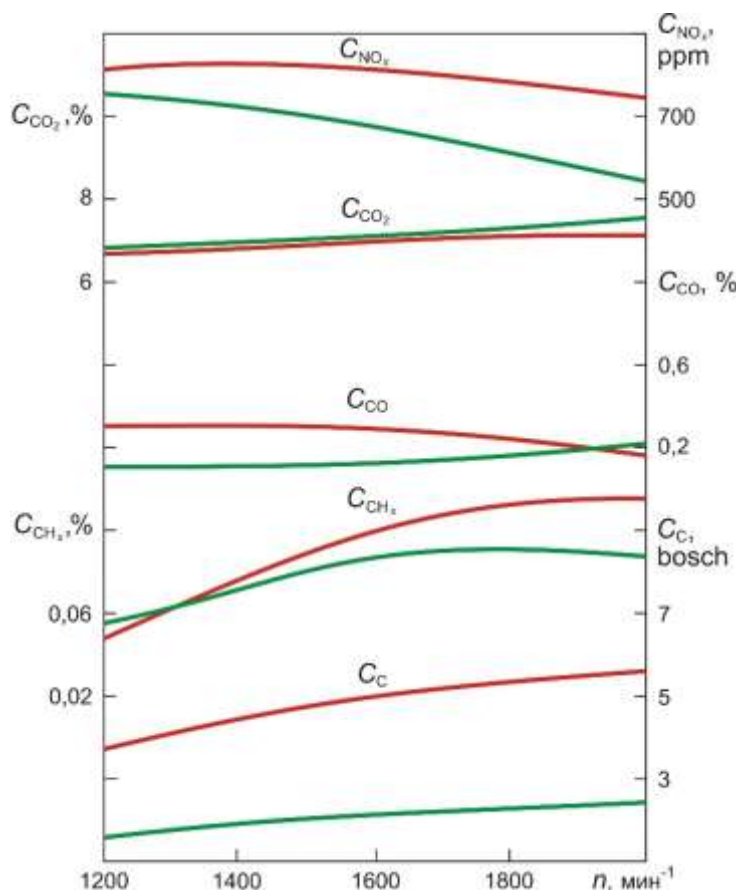


Рисунок 2. Влияние применения этанола и РМ в дизельном двигателе 2Ч 10,5/12,0 на экологические показатели в зависимости от изменения частоты вращения:

— дизельное топливо; — этанол и РМ

Результаты множества исследований однозначно свидетельствуют, что в процессе сгорания в дизельном двигателе большая часть суммарных оксидов азота образована термически (90-95%) по механизму Зельдовича, и лишь малую часть 5-10% составляют топливные оксиды азота и быстрые оксиды, образованные по механизму С. Р. Fenimore [19]. Поскольку согласно расширенному механизму Зельдовича, образование NO в значительной

степени зависит от температуры горения и концентрации кислорода, снижение содержания суммарных оксидов азота в ОГ дизельного двигателя при работе на этаноле и РМ можно объяснить сниженными локальными температурами в камере сгорания, а также меньшей продолжительностью активного тепловыделения.

Снижение концентрации сажи в ОГ дизельного двигателя, работающего на этаноле и РМ, можно объяснить меньшей склонностью этанола и РМ к сажеобразованию, обусловленной наличием кислорода в составе данных топлив.

Численные значения результатов экспериментальных исследований дизельной силовой установки сведены в таблице 1 и 2.

**Таблица 1. Результаты исследований показателей токсичности и дымности
ОГ дизеля 2ч 10,5/12,0 при работе на этаноле и РМ
(номинальный режим: $n=1800 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,588 \text{ МПа}$)**

Топливо	Показатели			
	NO _x , ppm	С, ед. по шкале bosch	CH _x , %	CO, %
Дизельное	790	5,3	0,11	0,22
Этанол + РМ	590 (снижение на 25,3%)	2,2 (снижение в 2,4 раза)	0,09 (снижение на 18,2%)	0,14 (снижение на 36,4%)

**Таблица 2. Результаты исследований показателей токсичности и дымности
ОГ дизеля 2ч 10,5/12,0 при работе на этаноле и РМ
(режим максимального крутящего момента: $n=1400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,592 \text{ МПа}$)**

Топливо	Показатели			
	NO _x , ppm	С, ед. по шкале bosch	CH _x , %	CO, %
Дизельное	810	3,8	0,052	0,13
Этанол + РМ	630 (снижение на 22,2%)	1,6 (снижение в 2,4 раза)	0,044 (снижение на 15,4%)	0,07 (снижение на 46,2%)

Вывод. В результате проведенных экспериментальных исследований влияния применения этанола и РМ на экологические показатели работы тракторной силовой установки достигнуто полное замещение нефтяного дизельного топлива альтернативными без внесения существенных изменений в конструкцию двигателя, улучшение его экологических показателей при сохранении мощностных на уровне серийного дизеля. Экспериментально определено влияние применения этанола и РМ на характеристики токсичности и дымности ОГ: на номинальном скоростном режиме работы двигателя концентрация сажи в ОГ снижается в 2,4 раза, выбросы NO_x – на 25,3% по сравнению с показателями штатного дизельного процесса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Alternative fuel mixture waste cooking oil (WCO) and corn oil: Transforming hazard into renewable energy / S. Suardi, M. U. Pawara, W. Setiawan [et al.] // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. 2024. V. 122, № 1. P. 244-257.
2. Exploring the effect of methanol and ethanol on the overall performance and substitution window of a dual-fuel compression-ignition engine fueled with HVO / V. M. Domínguez, Ju. J. Hernández, Á. Ramos [et al.] // Fuel. 2024. V. 359. P. 130529.
3. Environment-economic comparison of potential alternative fuel heavy-duty trucks in china / X. Zhang, Zh. Lin, H. Hao [et al.] // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2024. V. 131. P. 104206.

4. The application prospect and challenge of the alternative methanol fuel in the internal combustion engine / F. Zhou, Ju. Yu, Ch. Wu [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2024. V.913. P.169708.
5. Lebedevas S., Milašius E. Methodological aspects of assessing the thermal load on diesel engine parts for operation on alternative fuel // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024. V. 12, № 2. P. 325.
6. Compatibility study on calophyllum inophyllum methyl ester biodiesel as alternative fuel for IC engines / R. Appusamy, K. Chandrasekaran, Y. K. Basavarajappa [et al.] // *Environmental Engineering and Management Journal*. 2024. V. 23, № 1. P. 169-181.
7. Lopatin O. P. Mathematical problem in the construction of kinetic equations of alternative fuel oxidation in an internal combustion engine // *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 919. 2020. P. 052033
8. Assessment of particulate pahs toxicity from alcohol-diesel blends fuelled high compression ratio CI engine / T. K. Sahu, P. Ch. Shukla, A. Mondal [et al.] // *Cleaner Engineering and Technology*. 2024. V. 18. P. 100725.
9. Tiwari K. P., Singh R. N. Review on performance and emissions characteristics of compression ignition engine fueling non-edible vegetable oil // *Applied Mechanics and Materials*. 2024. V. 919. P. 107-122.
10. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Экспериментальные исследования токсичности отработавших газов дизельного двигателя при работе на этаноле и рапсовом масле // *Двигателестроение*. 2024. № 3 (297). С. 74-82.
11. Şen M. Optimization of performance and emission of a diesel engine fueled with isopropyl alcohol blends: A comparative ANN-GA and RSM-HCO application // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2024. V. 55. P. 101733.
12. Nieto Garzón N. A., Oliveira A. A. M., Bazzo E. Heat release rates of straight soybean and diesel oil blends in a compression ignition engine // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. V. 14, № 20. P. 9215.
13. Evaluation of advanced biofuels in internal combustion engines: diesel/fusel oil/vegetable oil triple blends / R. Estevez, F. J. López-Tenllado, L. Aguado-Deblas [et al.] // *Fuels*. 2024. V. 5, № 4. P. 660-672.
14. Evaluation of ci engine performance using compression ratio for palm oil biodiesel / M. N. Gajera, A. L. Lakhani, D. J. Faldu, T. D. Mehta // *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. V. 30, № 3. P. 294-304.
15. Performance analysis and emission characteristics of VCR diesel engine using palm stearin oil biodiesel as fuel / S. Malayathi, B. Aetty Ramachandraiah, B. Patan [et al.] // *International Journal of Low Carbon Technologies*. 2024. V. 19. P. 1674-1681.
16. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Исследование рабочего процесса дизеля на спиртосодержащем топливе. Киров : Вятский ГАТУ, 2024. 205 с.
17. Лиханов В. А., Арасланов М. И. Исследование показателей рабочего процесса быстроходного дизеля при работе на этаноле и рапсовом масле. Киров : Вятский ГАТУ, 2021. 181 с.
18. Лиханов В. А., Козлов А. Н. Моделирование сажевыделения в цилиндре дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на альтернативных топливах. Киров : Вятский ГАТУ, 2019. 157 с.
19. Fenimore C. P. Formation of nitric oxide from fuel nitrogen in ethylene flames // *Combustion and flame*. 1972. V. 19, № 2. P. 289-296.