

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЭТАНОЛА К ВОЗДУХУ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

А.Н. Карташевич, д.т.н., проф.; Г.Н. Гурков, инж.,
Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
С.А. Плотников, к.т.н., доц.; Ш.В. Бузиков, к.т.н., ст. преп.
Московский государственный индустриальный университет, филиал в г. Кирове

Проведены сравнительные экспериментальные исследования работы тракторного дизеля на дизельном топливе и с подачей паров этанола во впускной воздух. Определены мощностные, экономические и экологические показатели дизеля на основных нагрузочных и скоростных режимах работы.

Исследования выполнены в рамках научной программы «Биотопливо».

На кафедре «Тракторы и автомобили» Белорусской ГСХА в рамках научной программы «Биотопливо» проводятся испытания тракторных дизелей 4Ч11,0/12,5 (Д-243) и 4ЧН11,0/12,5 (Д-245.5С2) при работе на дизельном топливе (ДТ) с добавками растительных масел (РМ) и этанола (Э) [1–3].

Программа «Биотопливо» реализуется с целью экономии дизельного топлива за счет его частичной замены альтернативными возобновляемыми видами моторного топлива.

В исследованиях используются дизельное топливо марки Л, рапсовое масло холодного отжима, синтетический этанол по ТУ 2421-117-00151727–98.

В целях наполнения цилиндров количеством воздуха, необходимым для полного сгорания топлива объем испаренного этанола был ограничен величиной 20 % от расхода основного топлива. При этом расчетный коэффициент избытка воздуха должен был составлять не менее 1,05–1,10. Подача этанола во впускной трубопровод осуществлялась распылителем, установленном на входе в конфузор (рис. 1).

Известно, что этанол способствует увеличению периода задержки воспламенения, и вследствие этого — повышению «жесткости» процесса сгорания [4]. Поэтому для предварительной оценки характера работы дизеля была разработана математическая модель, описывающая процесс воспламенения и горения этанолсодержащего топлива (ЭСТ) для различных составов дизельных топлив с добавками этанола и различных значений углов $\theta_{\text{оп.впр}}$ [5, 6].

На рис. 2 показана номограмма, построенная по результатам расчетов для выбранного значения установочного угла опережения подачи топлива $\theta_{\text{оп.впр}}$.

Из приведенной номограммы следует, что с увеличением доли этанола в топливе значение ПЗВ возрастает. Так, при $\theta_{\text{оп.впр}} = 22^\circ$ до ВМТ в

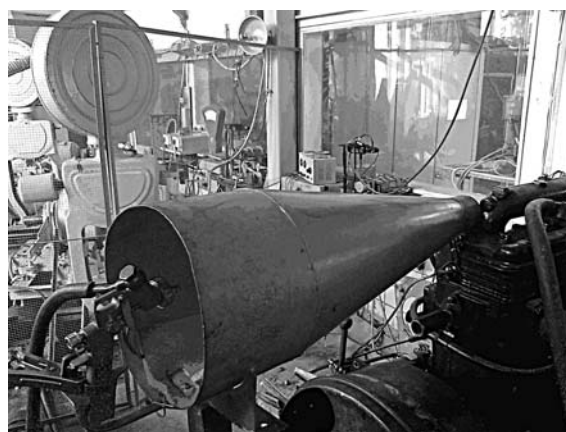


Рис. 1. Общий вид дизеля Д-243 с установленным распылителем для подачи испаренного этанола

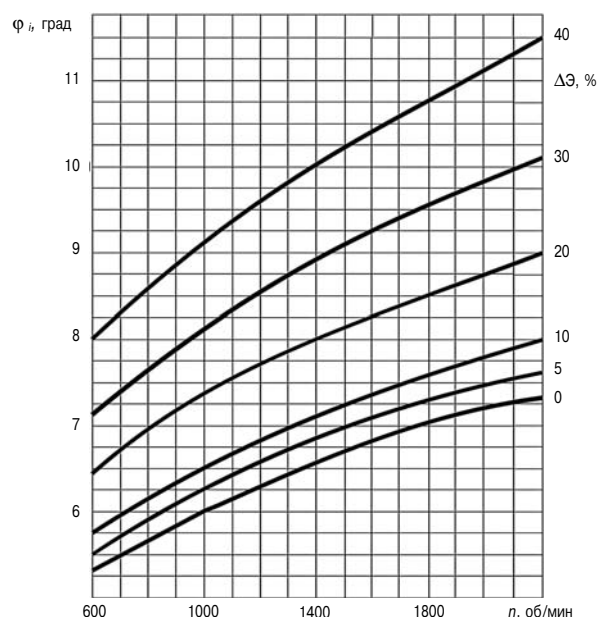


Рис. 2. Номограмма для определения ПЗВ при работе дизеля Д-243 на этанолсодержащих топливах различного состава ($\theta_{\text{оп.впр}} = 22$ град)

рассматриваемом скоростном диапазоне изменение ПЗВ составляет 2,05 градуса (от 5,28 до 7,33) при работе на чистом ДТ, и 2,71 градуса (от 6,36 до 9,04) при работе с добавкой 20 % этанола. Расчетами установлено усиление влияния добавки этанола на увеличение ПЗВ с ростом его доли в суммарном топливе из расчета 0,1 градуса ПКВ на 1 % этанола, что может быть объяснено влиянием продолжительности физической стадии $\tau_{\text{ф}}$ процесса воспламенения [4].

Проведенные с использованием разработанной программы [6] расчеты показателей фазы быстрого горения показывают, что работа дизеля на этанолсодержащем топливе будет сопровождаться изменением основных показателей рабочего процесса, а именно увеличатся угол φ_z , максимальное давление процесса сгорания p_z , жесткость процесса $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$. При этом общая продолжительность процесса сгорания, по сравнению с работой на товарном ДТ, не возрастет. Для обеспечения ресурса работы дизеля содержание спирта в суммарном топливе не должно превышать 30–40 % в массовых долях.

На рис. 3 представлены нагрузочные, а на рис. 4 скоростные характеристики дизеля Д-243 при работе на ДТ и с добавками в воздух испаренного этанола при оптимальном значении угла опережения впрыскивания топлива $\theta_{\text{оп.впр}} = 20^\circ$ до ВМТ.

Как видно из графиков, во всем диапазоне изменения нагрузки суммарный часовой расход топлива при работе на ЭСТ возрастает. Так, на номинальной нагрузке при $p_{\text{me}} = 0,69$ МПа и

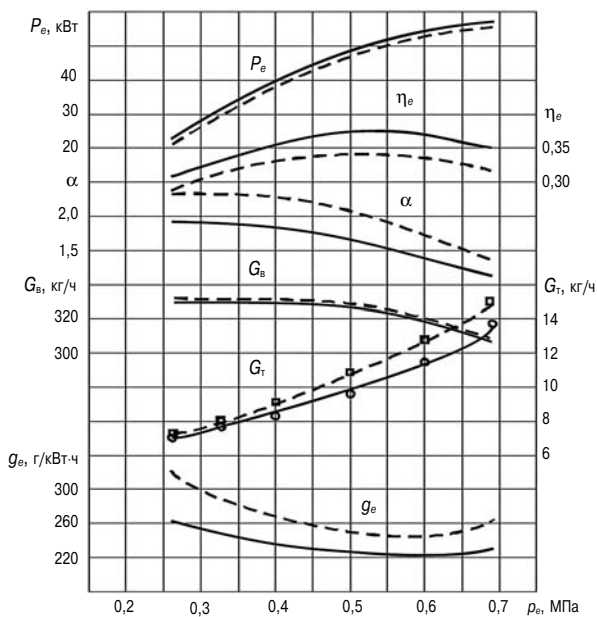


Рис. 3. Нагрузочные характеристики дизеля 4Ч11,0/12,5 при $n = 2200$ об/мин:

— дизельное топливо; - - - 5 % этанола в топливе

работе на ДТ его расход составляет $G_{\text{дт}} = 14,68$ кг/ч, а при работе на ЭСТ с добавкой 5 % испаренного этанола суммарный расход возрастает до $G_{\Sigma} = 15,37$ кг/ч. При этом расход ДТ снижается на 1,5–2,0 %. Удельный эффективный расход топлива при тех же условиях от $g_{e \text{ min}} = 225$ г/кВт·ч до $g_{e \text{ min}} = 253$ г/кВт·ч. Увеличение удельного эффективного и часового расходов топлива объясняется меньшей, чем у ДТ, теплотой сгорания этанола.

Значение эффективного КПД, учитывающего теплотворную способность этанолсодержащего топлива, снижается на 2 % по сравнению с КПД при работе на ДТ. При этом максимум КПД несколько смещается в сторону меньших нагрузок. Минимум удельного эффективного расхода топлива при работе дизеля на ЭСТ также сдвигается в сторону меньших нагрузок. Если при работе на ДТ $g_{e \text{ min}}$ достигается при $p_e = 0,59$ МПа, то при работе на ЭСТ с 5 % этанола он соответствует $p_e = 0,56$ МПа. Очевидно, подача испаренного этанола изменяет характер протекания процесса смесеобразования и, как следствие, характеристики процесса горения топлива.

Часовой расход воздуха в целом несколько снижается вследствие замещения части воздуха этанолом, в то время как коэффициент избытка воздуха увеличивается на 0,3–0,4 единицы. Это объясняется наличием дополнительного кислорода в составе молекулы этанола и снижением стехиометрического отношения смеси ЭСТ и воздуха. При максимальной нагрузке значение α возрастает до 1,2.

Влияние добавки паров этанола в воздух на изменение эффективных показателей дизеля при работе по внешней скоростной характеристике представлено на рис. 4.

Из графиков видно, что работа дизеля на ЭСТ вызывает некоторое ухудшение его эффективных показателей. Так, значения эффективной мощности, крутящего момента и эффективного КПД снижаются в сравнении с аналогичными показателями для ДТ. Снижение КПД составляет 0,5–1 % в случае добавки 5 % этанола и 2–2,5 % в случае добавки 20 % этанола в воздушный заряд.

Снижение эффективной мощности и крутящего момента дизеля составляет 13,5–14,2 % на частоте вращения 1400 об/мин при работе с добавкой 20 % этанола. В то же время на номинальной частоте вращения 2200 об/мин значения мощности и крутящего момента несколько выше, чем для случая работы на ДТ. Все это указывает на неоднозначное влияние паров этанола на эффективные показатели процесса и может объясняться совместным действием скорости процесса сгорания и величиной установочного угла опережения подачи топлива. Очевидно, работа дизеля с

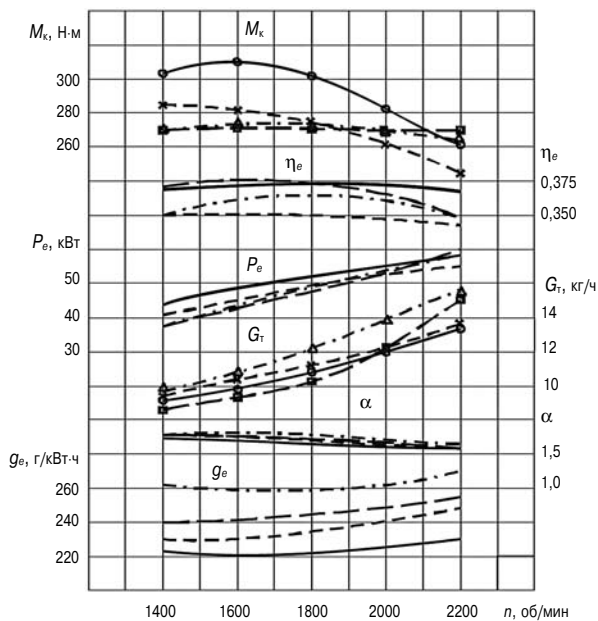


Рис. 4. Скоростные характеристики дизеля 4C11,0/12,5: — дизельное топливо; ---- 2 % этанола в воздухе; —·— 5 % этанола; ····· 20 % этанола

добавкой испаренного этанола на впуске требует определения оптимального значения установочного угла по совокупности влияющих факторов проведения дополнительных испытаний.

Часовой расход ДТ при работе на ЭСТ уменьшается во всем диапазоне изменения частот вращения. Так, при 1400 об/мин сокращение расхода ДТ составляет 26 %, а при 2200 об/мин — 15,7 % в случае введения в топливо 20 % этанола.

Значение суммарного удельного эффективно-го расхода топлива увеличивается от $g_{e \min} = 222$ г/кВт·ч для работы на дизельном топливе, до $g_{e \min} = 258$ г/кВт·ч при работе на ЭСТ с содержанием 20 % испаренного этанола, что объясняется меньшей, чем у ДТ, теплотой сгорания этанола.

Минимум удельного эффективного расхода топлива несколько смещается в сторону меньших частот вращения, так как присутствие этанола в топливе облегчает фракционный состав смеси, уменьшает значение потребной вихреобразующей способности впускного тракта.

На рис. 5 и 6 представлены показатели дымности и токсичности ОГ дизеля Д-243 при работе на ДТ и с добавкой в воздух испаренного этанола.

Дымность ОГ снижается при работе дизеля на ЭСТ по сравнению с работой на ДТ во всем диапазоне нагрузок. Снижение, как и следовало ожидать, вызывается меньшей склонностью к дымлению спиртов в сравнении с ДТ. Так, на номинальном скоростном режиме при $p_e = 0,69$ МПа снижение дымности ОГ составляет 5,7 % при добавке в воздух 5 % этанола.

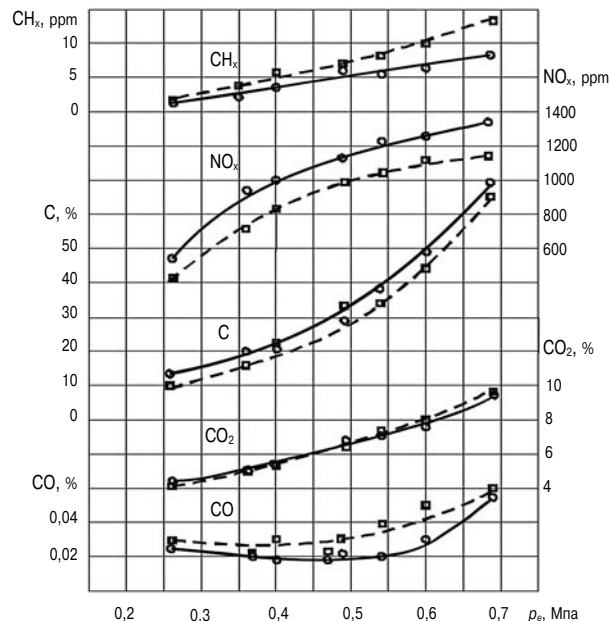


Рис. 5. Показатели дымности и токсичности дизеля 4C11,0/12,5 в зависимости от нагрузки при $n = 2200$ об/мин: — дизельное топливо; ---- 5 % этанола в воздухе

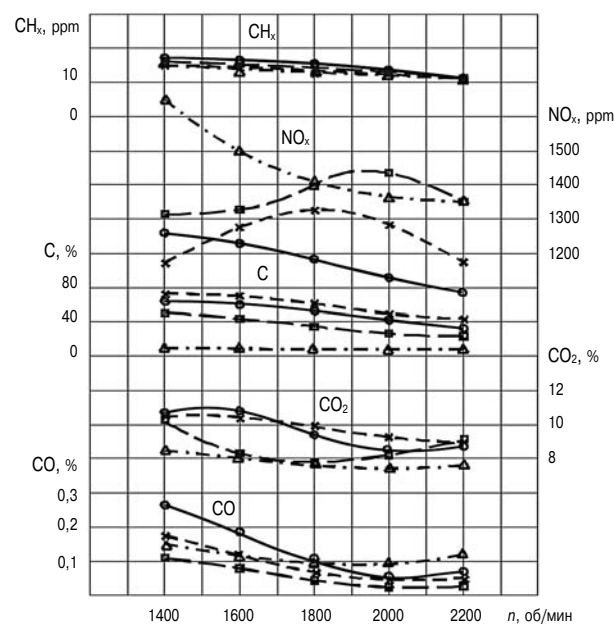


Рис. 6. Показатели дымности и токсичности дизеля 4C11,0/12,5 в зависимости от частоты вращения: — дизельное топливо; ---- 2 % этанола в воздухе; —·— 5 % этанола; ····· 20 % этанола

Уровень концентрации CO в ОГ при работе на ЭСТ возрастает во всем диапазоне нагрузок. Концентрация CO₂ изменяется пропорционально изменению массового содержания углерода в компонентах топлива.

Содержание суммарных углеводородов CH_x в ОГ несколько возрастает при работе на ЭСТ.

Решающее значение в этом случае оказывает возрастание скорости горения. В итоге, несмотря на уменьшение содержания углерода в суммарном топливе, на номинальном режиме при $p_e = 0,69$ МПа, концентрация CH_x увеличивается от 8 ppm для ДТ до 13 ppm при добавке 5 % испаренного этанола в воздух.

На рис. 6 показано изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля при работе по внешней скоростной характеристике.

Анализ полученных данных показывает, что дымность ОГ при работе дизеля на ЭСТ снижается с увеличением добавки этанола. При этом добавка 20 % этанола обеспечивает радикальное снижение дымности ОГ (на 72–87 %) на всех скоростных режимах.

Содержание несгоревших углеводородов CH_x в отработавших газах практически остается на том же уровне, что и при работе на стандартном топливе.

Выброс CO при работе дизеля на ЭСТ уменьшается. Содержание CO_2 снижается от 10,5 до 8,35 % при частоте вращения 1400 об/мин и от 8,7 до 7,6 % при номинальной частоте вращения.

Характер изменения концентрации оксидов азота в ОГ неоднозначен, однако в целом можно констатировать увеличение их выхода пропорционально количеству добавки этанола к впускному воздуху. Учитывая обеднение смеси наличием дополнительного кислорода в молекуле спирта, можно предположить, что основной выход NO_x в рассматриваемом случае осуществляется по механизму Фенимора.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие основные выводы.

1. Работа дизеля с добавкой этанола во впускной воздух сопровождается некоторым увеличением ПЗВ в сравнении с работой на ДТ, ростом «жесткости» и сокращением времени процесса сгорания.

2. Работа дизеля с подачей до 20 % испаренного этанола на впуске позволяет сократить

расход ДТ до 15,7 %. При этом на 0,5–2,5 % снижаются значения эффективного КПД и крутящего момента. Это может объясняться как изменением характера процесса горения, так и снижением суммарной теплоты сгорания топлива. Работа дизеля с добавкой испаренного этанола на впуске требует нахождения оптимального закона изменения угла опережения впрыскивания топлива.

3. Применение ЭСТ позволяет эффективно снижать дымность ОГ дизеля (72–87 %) и уменьшить выход несгоревших углеводородов. Это характерно для всех скоростных и нагрузочных режимов работы тракторного дизеля.

Литература

1. *Карташевич А.Н., Плотников С.А., Гурков Г.Н.* Применение этанолсодержащих топлив в дизеле. Ч. I. — Киров : Типография «Авангард», 2011. — 116 с.
2. *Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А.* Показатели работы тракторного дизеля на рапсовом масле // Двигателестроение. — 2011. — № 2. — С. 39–41.
3. *Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А.* Оценка дымности и токсичности тракторного дизеля при работе на рапсовом масле // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. — № 9. — С. 11–13.
4. *Карташевич А.Н., Плотников С.А.* Алгоритм расчета цетанового числа и периода задержки воспламенения при работе дизельного двигателя на спиртовых топливах // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2007. — № 4. — С. 108–112.
5. *Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Карташевич А.Н., Гурков Г.Н.* Программа расчета периода задержки воспламенения этанолсодержащего топлива в дизеле (ПЗВ-Этанол) // Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2010610381 от 11.01.2010.
6. *Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Карташевич А.Н., Гурков Г.Н.* Программа расчета параметров фазы быстрого горения в дизеле при работе на этанолсодержащих топливах (ФБГ-Этанол) // Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2010610380 от 11.01.2010.