

УДК 629.424: 628.43.6

Е.С. Ноженко, В.И. Могила, Н.И. Горбунов

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА ПУТЕМ ОЗОНИРОВАНИЯ ТОПЛИВА

Представлены исследования использования технологии озонирования рабочих сред на локомотиве, в частности, влияния озонированного топлива на рабочий процесс тепловозного дизеля и подача озонированного воздуха в контакт колеса с рельсом.

Ключевые слова: транспорт, озон, топливо, расход топлива, дымность отработавших газов.

Постановка задачи.

Темпы роста потребления ископаемого топлива и соответственно рост объемов выбросов CO₂ в атмосферу, которые наблюдаются последние десятилетия, являются на сегодняшний день одним из основополагающих причин надвигающейся экологической и энергетической катастрофы.

По данным Всемирного банка, если темпы роста потребления ископаемого топлива и объемов выбросов CO₂ в атмосферу не снизятся (рис. 1), то к началу XXII в. средняя температура на Земле увеличится на 3 – 7°C, что станет причиной необратимых изменений климата [1 - 3].

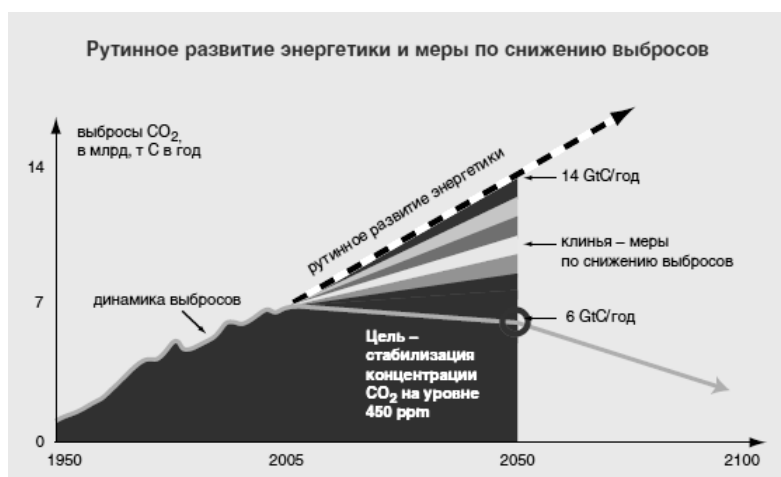


Рис. 1. Динамика выбросов CO₂

Анализ последних исследований и публикаций.

Анализ роли существующих технологий снижения выбросов CO₂ показал, что основной эффект на данном этапе развития энергетики достигается при внедрении технологий по энергосбережению (рис. 2) [3].

Однако, несмотря на огромное количество научно-исследовательских работ в направлении совершенствования существующих технологий сжигания топлив, в том числе и в автомобилестроении [4], за последнее десятилетие не появилось прорывных технологий, которые позволили бы в корне решить проблему эффективности сгорания топлива и соответственно снизить экологическую нагрузку от выбросов. Рост коэффициента полезного действия при преобразовании химической энергии топлива в механическую работу за последние 10 лет существенно не изменился и сохраняется на уровне 40-50% [5].

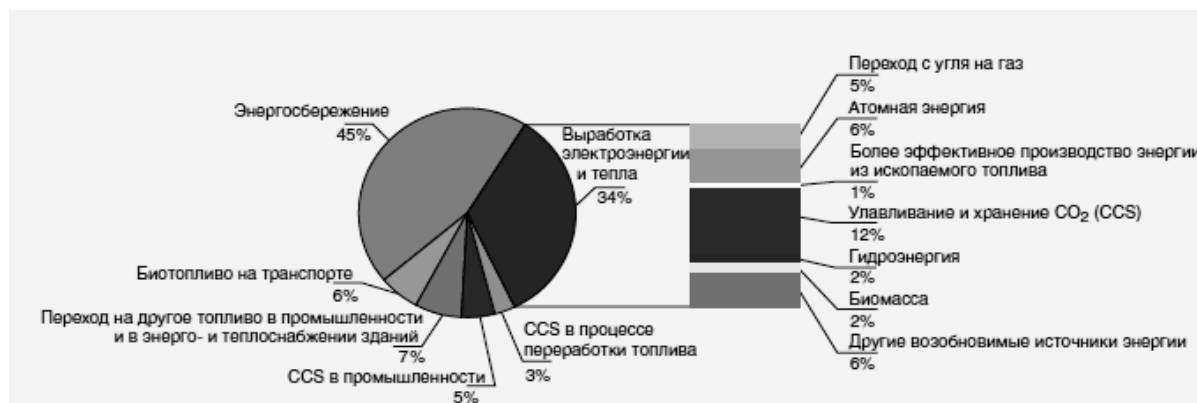


Рис.2. Мероприятия по снижению выбросов парниковых газов [3]

Низкая эффективность термохимических преобразований в процессе сгорания углеводородов вынуждает обращаться к нетрадиционным источникам получения энергии (применение альтернативных растительных топлив [6], внедрению мобильных электроустановок, ветровой и солнечной энергии) в энергетике и на транспорте. Однако, в большинстве своем, для успешного использования таких источников энергии требуется достаточно значительное конструктивное переоснащение существующих технологий или получение такой энергии недостаточно рационально и экономически не обоснована на современном этапе развития техники. Это вынуждает прибегать к методам совершенствования процесса сгорания в тепловых двигателях и энергоустановках [7].

Материалы и результаты исследования.

Одним из способов совершенствования рабочего процесса может быть озонирование топлива. Проводились исследования на математической модели проводились на номинальном режиме работы дизель-генератора 18-9ДГ, при этом изучалось влияние физико-кинетических свойств озонированного топлива (концентрации озона, подаваемого в топливо, $k_{O_3} = 0,1 \dots 1$ г/л и времени хранения $t_{xp} = 0 \dots 5$ ч) на технико-экономические показатели работы дизеля. Из результатов моделирования (рис. 3) следует, что определяющее значение на технико-экономические показатели работы дизель-генератора из исследуемых факторов имеет величина «условной» энергии активации предпламенных реакций.

Установлено, что существует предел использования озонированного топлива, при превышении которого наблюдается ухудшения удельного эффективного расхода топлива g_e и дымности D по сравнению с использованием обычного дизельного топлива. Определяющее значение имеет время хранения озонированного топлива t_{xp} . При хранении его более 1,5 часов наблюдается резкое ухудшение удельного эффективного расхода топлива g_e дизель-генераторной установки.

Из теоретических предпосылок озонирования топлива [8] следует, что при озонировании топлива образуются нестойкие химические соединения – радикалы, которые с течением времени преобразуются в химические соединения (кислоты, спирты, и т.п.), впоследствии выпадающие в осадок. Образующие радикалы способствуют ускорению протекания предпламенных реакций и влияют на период задержки воспламенения τ_i , при их разложении это влияние сводится к минимальному, а при преобразовании в другие химические соединения приводит к замедлению протекания предпламенных реакций и, как следствие, ухудшению параметров работы дизеля. Далее происходит выпадение образованных соединений в осадок, что приводит к изменению скорости протекания предпламенных реакций до уровня неозонированного топлива, и это подтверждают результаты моделирования (см. рис. 3).

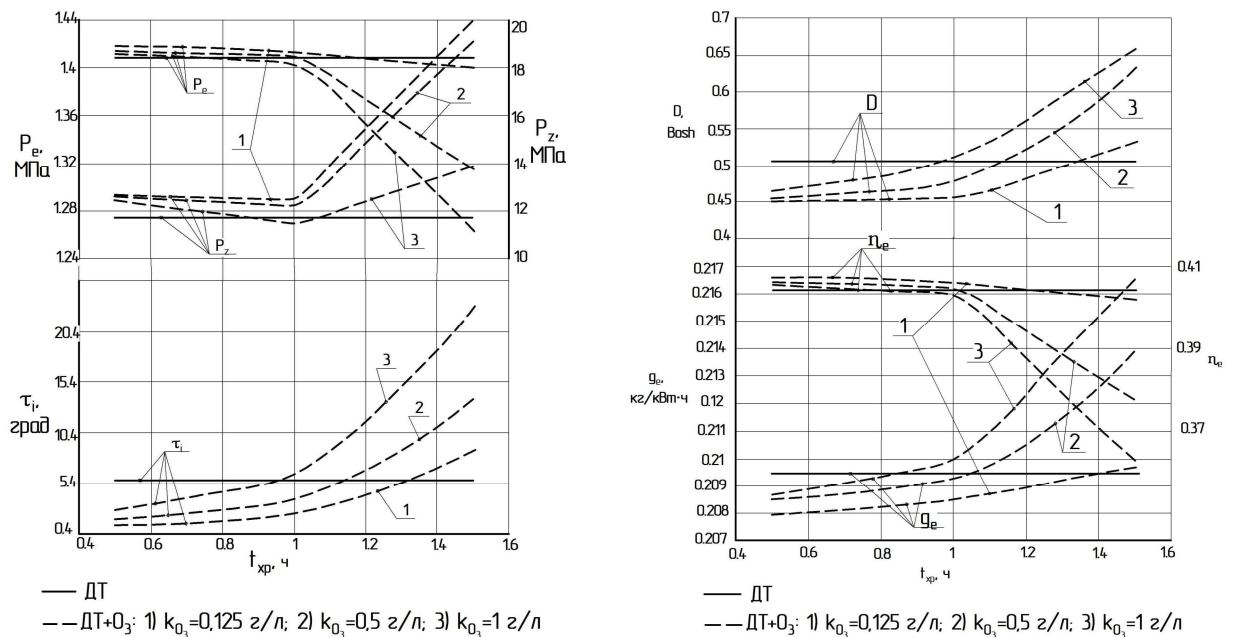


Рис. 3. Параметры работы дизель-генератора 18-9ДГ (16ЧН26/26) на номинальном режиме при работе на дизельном топливе (ДТ) и на озонированном дизельном топливе (ДТ+O₃) с разной концентрацией озона, подаваемого в топливо в зависимости от времени хранения озонированного топлива

Эффект от озонирования топлива при моделировании дымности отработавших газов (см. рис. 3) объясняется более совершенным процессом сгорания, ввиду описанных выше процессов, а также с учетом разложения озоном серосодержащих соединений, выпадающих в осадок, что хорошо согласуется с результатами исследований по окислительному обессериванию нефти и моторных топлив на нефтеперерабатывающих заводах. Выпадение серосодержащих соединений объясняет эффект снижения дымности в результате озонирования по прошествии длительного времени с момента озонирования.

Влияние концентрации озона в топливе на экономические и экологические показатели дизеля объясняются протеканием химических реакций в топливе и образующимися перекисными соединениями.

Таким образом, установлено, что существуют предельные уровни параметров озонирования, которые характеризуют эффективность способа озонирования дизельного топлива, которые составляют:

- время хранения озонированного топлива $t_{xp} = 0 \dots 1$ часа;
- концентрация озона, подаваемого в топливо, $k_{O_3} = 0,1 \dots 0,5$ г/л.

При этом наибольший эффект от озонирования наблюдается при хранении дизельного топлива 0,5 ч и концентрации озона, подаваемого в топливо, $k_{O_3} = 0,125$ г/л. Моделирование рабочего процесса на этих параметрах показало увеличение индикаторного давления на 0,7%, мощности на номинальном режиме на 0,6 % и снижение удельного эффективного расхода топлива на 0,72% (табл. 1). Кроме того, исследовалось влияние настройки топливной аппаратуры дизеля при работе на озонированном топливе, в частности, угла опережения впрыска топлива. Сравнение параметров при штатном угле опережения впрыска топлива (14 град. п.к.в.) и при угле опережения впрыска топлива 4 град. п.к.в., которое представлено в табл. 1 и на рис. 4 – 5, позволили установить резерв повышения эффективности от озонирования топлива путем оптимизации настройки топливной аппаратуры.

Из результатов моделирования рабочего процесса эффект от озонирования дизельного топлива объясняется влиянием величины «условной» энергии активации предпламенных реакций на величину периода задержки самовоспламенения (табл. 1) в результате чего процесс сгорания начинается раньше (рис. 4), что приводит к более «мягкому» протеканию рабочего процесса. Озон, увеличивая скорость концентрации активных центров, уменьшая скорость их расходования и скорость выгорания продуктов неполного сгорания, в первой и второй фазе активного тепловыделения увеличивает ее интенсивность, несмотря на меньшее количество паров,

образовавшихся за период задержки самовоспламенения (рис. 4). Применение озона при угле опережения впрыска топлива 4 град. при незначительном смещении от наилучшей точки относительно оптимальных значений ключевых факторов (температуры и концентрации свежего заряда) увеличивает интенсивность тепловыделения первой и второй фаз сгорания за счет увеличенной концентрации активных частиц, снижения скорости расходования активных центров на «побочные» ответвления в первой и второй фазах, скорости выгорания продуктов неполного сгорания во второй фазе (рис. 4). Увеличение тепловыделения на первом и втором этапе при введении озона в рабочий процесс обеспечивает сокращение количества тепловыделения на этапе догорания.

Таблица 1

Результаты моделирования процесса сгорания в цилиндрах дизеля 16ЧН26/26

Параметры	Угол опережения впрыска топлива, г.п.к.в.			
	4 без озона	4 с озоном	14 без озона	14 с озоном
Мощность, кВт	2512,6	2537,2	2589,8	2613,3
Удельный эффективный расход топлива, г/кВт ч	0,21587	0,21335	0,20944	0,20797
Эмиссия дыма по шкале Bosh	1,1228	1,03298	0,5072	0,4509
Среднее индикаторное давление, МПа	1,5187	1,5307	1,4071	1,41701
Максимальное давление цикла, МПа	8,9479	9,4691	11,742	12,686
Период задержки воспламенения, град. п.к.в.	4,4954	0,97366	5,813	1,3328

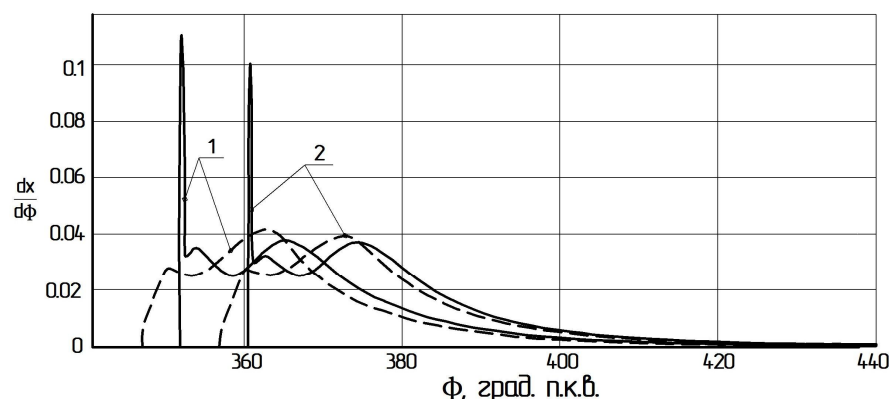


Рис. 4. Характеристика тепловыделения дизеля 6ЧН26/26 при угле опережения впрыска топлива 14 град. п.к.в. (1) и при угле опережения впрыска топлива 4 град. п.к.в. (2) при работе на ДТ (-----) и на ДТ+O₃ (- - - -)

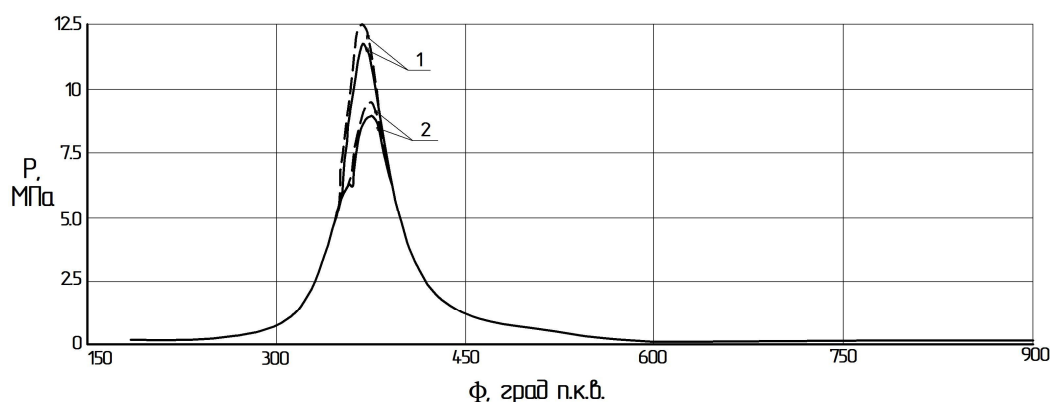


Рис. 5. Индикаторная диаграмма дизеля 6ЧН26/26 при угле опережения впрыска топлива 14 град. п.к.в. (1) и при угле опережения впрыска топлива 4 град. п.к.в. (2) при работе на ДТ (-----) и на ДТ+O₃ (- - -)

Первый максимум характеристики тепловыделения (рис. 6) сдвигается в сторону в.м.т., что в свою очередь приводит к увеличению максимального давления сгорания, как видно из рис. 3 – 4, и к сокращению удельного эффективного расхода топлива (табл. 1). Из этого следует что снижение удельного эффективного расхода топлива при изменении угла опережения впрыска может достичь 1,2 % на номинальном режиме.

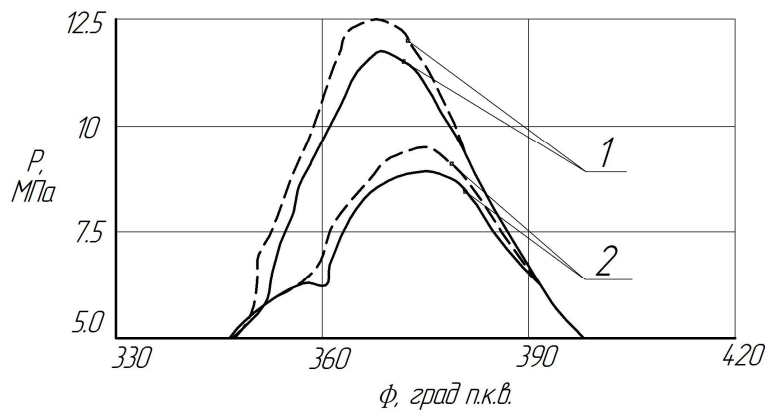


Рис. 6. Часть индикаторной диаграммы дизеля 6ЧН26/26 при угле опережения впрыска топлива 14 град.п.к.в. (1) и при угле опережения впрыска топлива 4 град. п.к.в. (2) при работе на ДТ (---) и на ДТ+O₃ (- - -) на участке начала процесса сгорания

Выводы

Из результатов численного эксперимента следует, что существует предел использования озонированного топлива, при превышении которого наблюдается ухудшения удельного эффективного расхода топлива g_e и дымности по сравнению с использованием обычного дизельного топлива, при этом определяющее значение имеет время хранения озонированного топлива t_{xp} . При хранении его более 1,5 часов наблюдается резкое ухудшение удельного эффективного расхода топлива g_e дизель-генераторной установки.

Установлено, что существуют предельные уровни параметров озонирования, которые характеризуют эффективность способа озонирования дизельного топлива, которые составляют: время хранения озонированного топлива $t_{xp} = 0 \dots 1$ часа; концентрация озона, подаваемого в топливо, $k_{O_3} = 0,1 \dots 0,5$ г/л.

1. Parry M. L. Millions at risk: defending critical climate change threats and targets. / M.L. Parry, N.W. Arnell, T. McMichael, R. Nicolls, W.J.M. Martens, S. Kovats, M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias, G. Fischer // Global Environmental Change. - V. 11, 2001. - Pp. 181 – 183.
2. WWF. Energy Task Force. // URL: www.panda.org.
3. IEA, 2006. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives // URL: www.iea.org.
4. Романов К. Двигателестроение как драйвер роста ОПК / К.Романов // РЦБ. – №11. 2007. – С. 15 – 25.
5. Viarshyna H. Method for combustion control in diesel engines/ H. Viarshyna, A. Volochko, A. Pilatau, E. Nozhenko, A. Izabela// International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport. Book of Papers. Part .2. – Minsk, 2010. – P. 69 - 73.
6. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля: монография / И.П. Васильев. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2009. – 240 с.
7. Stan C. Verbrennungssteuerung durch Selbstzündung. Teil 1: Thermodynamische Grundlagen / C. Stan, Ph. Guibert // MTZ. - Vol. 65, №1. – 2004. - P. 57 - 62.
8. Ноженко Е.С. Повышение энергетической эффективности тепловоза активацией рабочих сред: дисс... канд. техн. наук: 05.22.07/ Е.С. Ноженко. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2010. – 207 с.