

А. Л. ГОЛУБЕНКО, д.т.н., профессор, ВНУ им. В. Даля (Украина);

Е. С. НОЖЕНКО, асп., ВНУ им. В. Даля (Украина);

В. И. МОГИЛА, д.т.н., профессор, ВНУ им. В. Даля (Украина)

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЛОКОМОТИВА КАК ИСТОЧНИК ДЛЯ АКТИВАЦИИ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ДИЗЕЛЯ ОЗОНОМ

У статті аналітично обґрунтовано використання енергії гальмування локомотиву для активації паливно-повітряної суміші. Проаналізовані можливі методи активації, запропонований метод активації палива озоном. Представлені результати експериментальних досліджень впливу озонованого палива на його фізико-хімічні властивості, а також на робочий процес дизеля.

В статье аналитически обосновано использование энергии торможения локомотива для активации топливовоздушной смеси. Проанализированы возможные методы активации, предложен метод активации топлива озоном. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния озонированного топлива на его физико-химические свойства, а также на рабочий процесс дизеля.

In the article the use of energy of braking of locomotive for activating the fuel-and-air mixture is analytically substantiated. The possible methods of activating are analysed and the method of ozone activating of fuel is offered. The results of experimental researches of influence of the ozonized fuel on its physical and chemical properties as well as on the working process of diesel are presented.

В условиях современного развития Украины большое внимание уделяется вопросам энергосбережения и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, в связи с чем, разработка и внедрение системы рационального использования энергии электродинамического торможения на тепловозах приобретает все большее значение.

Использование электродинамического тормоза обеспечивает повышение безопасности движения поездов вследствие наличия на тепловозе двух систем торможения; увеличение эффективности и надежности экстренного торможения; реализацию более высоких тормозных усилий, ограниченных по условиям нагрева и механической прочности бандажей колесных пар, снижение износа бандажей колесных пар более чем в 1,5 раза [1]; уменьшение в 4 – 5 раз количества колесных пар, выходящих из строя вследствие перегревов и трещин; снижение износа (в зависимости от профиля пути и скорости движения) тепловозов на 35 – 85%, вагонов – на 60 – 70% [1]; уменьшение вероятности юза колесных пар и его последствий; повышение скорости движения поездов на затяжных спусках и увеличение пропускной способности участка; уменьшение расходов по содержанию в исправном состоянии пневматического тормозного оборудования. Реализация скоростей 140...150 км/ч для современного подвижного состава весьма затруднительна без ис-

пользования электродинамического тормоза, действующего в области высокой скорости совместно с пневматическим [2].

Исследования работы тепловозов в режиме электродинамического торможения показало, что мощность, развиваемая тяговыми электродвигателями, составляет 1300...4000 кВт, причем у тепловозов мощность в тормозном режиме превосходит мощность в тяговом режиме в 1,2...1,3 раза [3].

Анализ использования энергии торможения на тепловозе [4] показал, что эффективность электродинамического тормоза не отвечает современным требованиям по экономическим критериям.

Перспективным, на наш взгляд, является использование бросовой энергии торможения для активации топливовоздушной смеси с целью совершенствования процесса сгорания.

Для разработки схем использования части энергии ЭДТ рассмотрим модель движения состава по перегону при ЭДТ, при оснащении локомотива устройством для активации ГСМ.

Исходя из уравнения движения поезда в удельной форме и уравнения электрического равновесия тягового электродвигателя, работающего в генераторном режиме:

$$\begin{cases} -b - \omega_0 + i^0 = \frac{1 + \gamma}{g} \frac{dv}{dt_T} \\ C_E \mu \frac{60}{\pi \cdot D_K} \Phi v = (R_{ТД} + R_R + R_a) \cdot i_T + L \frac{di_T}{dt_T} \end{cases}, (1)$$

где γ – коэффициент инерции вращающихся масс; g – ускорение свободного падения, м/с²; v – скорость движения поезда, м/с; t_T – время, с; μ – передаточное число зубчатой передачи тягового электродвигателя; D_K – диаметр колеса, м; Φ – магнитный поток обмотки возбуждения тягового электродвигателя, Мкс; $R_{ТД}$ – сопротивление обмотки якоря и добавочных полюсов, Ом; R_R – сопротивление резисторов, Ом; R_a – сопротивление устройств для активации ГСМ, Ом; i_T – мгновенное значение тормозного тока, А; L – индуктивность якорной обмотки, Гн; C_E – электрическая постоянная двигателя; t_T – время торможения, с.

Момент тягового электродвигателя M :

$$M = C_M \Phi i_T. (2)$$

где C_M – магнитная постоянная тягового электродвигателя.

Удельное тормозное усилие:

$$b = \mu \frac{2Mm}{D_K \eta_{ЗП} G}, (3)$$

где $\eta_{ЗП}$ – КПД зубчатой передачи и тягового электродвигателя; m – число движущих колесных пар тепловоза, шт.; G – масса поезда, т.

Величина удельного полного сопротивления движению поезда ω_0 [5]:

$$\omega_0 = \frac{\omega'_0 \cdot G_L + \omega''_0 \cdot G_C}{G} = \omega_0 = A_\omega + B_\omega \cdot v, (4)$$

где ω'_0 , ω''_0 – удельное основное сопротивление локомотива и состава, Н/т; G_L , G_C – масса соответственно локомотива и состава, т. A_ω , B_ω – коэффициенты, полученные в результате аппроксимации кривой сопротивления движению поезда. $A_\omega = \omega_0$ при $v = 0$, $B_\omega = \frac{\omega_0 - A_\omega}{v}$ при $v > 0$.

Частное решение (1), после дифференцирования и преобразований, представлено в виде:

$$I = \frac{K_i}{1 + B_\omega K_v} (i^0 - A_\omega),$$

$$v = \frac{3,6 K_v}{1 + B_\omega K_v} (i^0 - A_\omega) \cdot 10^{-3},$$

где

$$K_i = \frac{G}{m} \cdot \frac{D_K \eta_{ЗП}}{2\mu^2} \cdot \frac{C_E}{C_M} \cdot \frac{1}{E/n},$$

$$K_v = \frac{G}{m} \cdot \frac{D_K^2 \eta_{ЗП}}{\mu^2} \cdot \frac{\pi}{60} \cdot \frac{C_E}{C_M} \cdot \frac{(R_{ТД} + R_R + R_a)}{(E/n)^2},$$

E – ЭДС тягового электродвигателя, В; n – частота вращения якоря тягового электродвигателя, об/мин.

Полученные соотношения определяют режим работы тягового электродвигателя при электродинамическом торможении с отбором мощности на активацию топливоздушнoй смеси в зависимости от его параметров, передачи и условий движения поезда.

Физические методы активации топлива (рис. 1) [6] являются наиболее перспективными для совершенствования процесса сгорания [7]. Совершенствование процесса сгорания топливоздушнoй смеси путем управления физико-химическими свойствами смеси позволит с минимальными затратами на модернизацию, иногда даже в эксплуатации, достичь значительногo улучшения экономико-экологических показателей двигателя внутреннего сгорания.

Химические процессы, происходящие в жидких средах, в результате такой обработки, являются предметом глубоких исследований в нефтедобыче, медицине, трибологии, строительстве, металлургии, текстильном производстве, коммунальном хозяйстве [8-10]. В конечном итоге все они базируются на достижениях фундаментальной химии, сформировавшейся в начале XX века вместе с квантовой механикой, которая составляет ее физическую основу. Из-за чрезвычайной сложности физико-химического процесса активирования, эта задача, как показывает время, остается не до конца изученной.

Одним из слабо изученных разновидностей активации топливоздушнoй смеси коронным разрядом, является озонирование. При этом возникают практические задачи определения характеристик топлив сразу после озонирования и в течение времени хранения. Если такие исследования для бензиновых двигателей известны, то для дизельных двигателей при работе на ДТ они практически не исследованы.

Использование озона в качестве окислительной добавки к топливу не новость в научном мире [11, 12]. Для моторного топлива озон рассматривался также как окислитель вместо традиционной воздушной смеси. Исследования в этом направлении проводились в конце 80-х – начале 90-х гг. как в нашей стране, так и за ру-

бежом [13]. Предпосылки использования озона вместо кислорода воздуха основаны на его физико-химических свойствах. Проводились детальные исследования озонирования бензина с целью снижения расхода топлива и вредных

выхлопов отработавших газов [14], на основе которых выявлено, что подача озона в топливо более эффективна, чем подача озонированного воздуха в карбюратор.



Рис. 1. Классификация основных методов активации топлива

Авторами были проведены предварительные экспериментальные исследования по влиянию озонирования ДТ на показатели двигателя [15], где было зафиксировано снижение расхода топлива на 1,1%, дымности на 12...17%.

Для выявления механизма, лежащего в основе улучшения указанных характеристик дизельного двигателя необходимо определение изменения физико-химических свойств топлива в зависимости от концентрации озона в топливе и времени хранения озонированного топлива.

Для обработки топлив использовались озонаторы, разработанные на кафедре железнодорожного транспорта ВГУ им. В. Даля.

Озонирование топлива заключалось в его насыщении в барботажной камере при подаче озонозадушной смеси с определенной концентрацией озона (рис. 2). Время озонирования составляло 10, 30 и 60 мин при расходе воздуха 40 л/ч. Концентрация озона – $1,34 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Поглощение озона было количественным.

Результаты исследования влияния озонирования на параметры ДТ приведены на рис. 2-5.

На основании рис. 3 можно утверждать о нестабильности характеристик топлива после озонирования, что обосновывает необходимость озонирования топлива непосредственно на транспортном средстве перед его подачей в камеру сгорания.

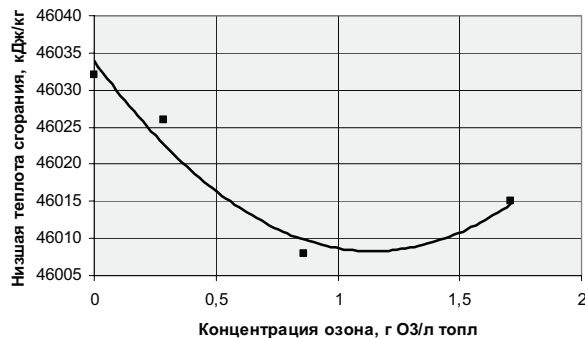


Рис. 2. Зависимость нижней теплоты сгорания дизельного топлива от количества поглощенного озона

**Константы скорости реакции озоннолиза
для различных типов углеводородов**

Тип углеводородов	Константы скорости реакции л/(моль·с)
для парафиновых углеводородов	$10,5 \cdot 10^{-2} \dots 0,7 \cdot 10^0$
для нафтеновых углеводородов	$5 \cdot 10^{-2} \dots 0,32 \cdot 10^0$
для ароматических углеводородов	$3,4 \cdot 10^{-1} \dots 5 \cdot 10^{-1}$

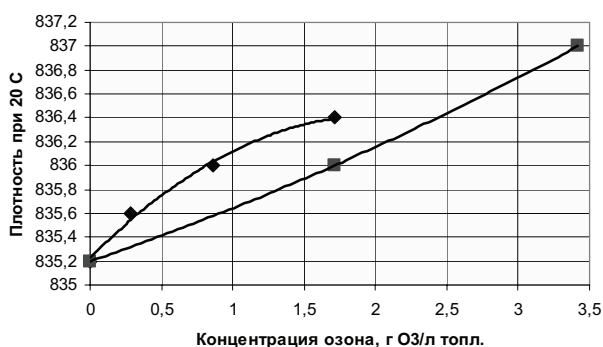


Рис. 3. Зависимость плотности при 20 °С дизельного топлива от количества поглощенного озона с течением времени хранения топлива:
◆ – сразу после озонирования,
■ – по прошествии 2 месяцев

На основании рис. 3 можно утверждать о нестабильности характеристик топлива после озонирования, что обосновывает необходимость озонирования топлива непосредственно на транспортном средстве перед его подачей в камеру сгорания.

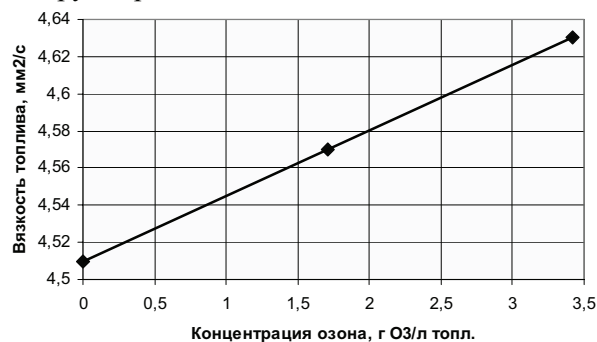


Рис. 4. Зависимость вязкости топлива от количества поглощенного озона в топливе

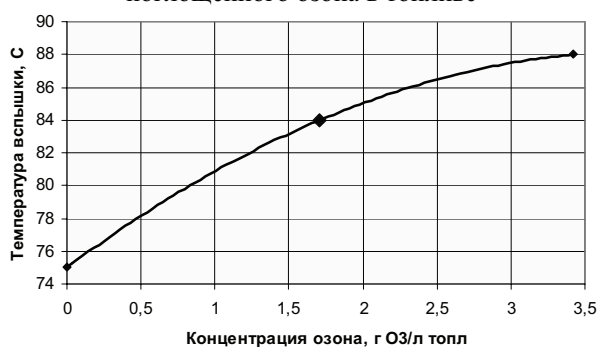


Рис. 5. Зависимость температуры вспышки ДТ от количества поглощенного озона, растворенного в топливе

Влияние дозирования озонородной смеси в топливо, в основном, связано с хемосорбцией и реакциями озоннолиза в жидкой фазе. Анализ реакционной способности углеводородов можно осуществить по константам скорости реакции озоннолиза, которые представлены в табл. 1 [16]:

Таким образом, озоннолизу будут подвергаться, в основном, наиболее реакционноспособные ароматические углеводороды. Влияние озона на процесс горения при его микродобавках в топливо объясняется образованием пероксидных соединений и последующим цепным их распадом на свободные радикалы, которые и вызывают детонацию в зоне горения. Время существования свободных радикалов ограничено, поэтому длительное хранение озонированного топлива приводит к синтезу в его объеме кислот и снижает способность к полному сгоранию. Это подтверждается тем, что при длительном озонировании топлива наблюдалось выпадение растворимого в щелочи осадка, что указывает на необратимые изменения в топливе.

Как следует из [11] при сгорании топлива на скорость предпламенных реакций при самовоспламенении в дизеле значительное влияние оказывает жидкофазное окисление распыленного топлива, которое, главным образом, зависит от количества пероксидных соединений. В свою очередь, длительность периода задержки воспламенения топлива определяется скоростью предпламенных реакций. Таким образом, при добавлении озона в топливо, происходит предварительное окисление капель жидкого топлива с образованием перекисных соединений, которые повышают цетановое число топлива и уменьшают период задержки воспламенения, тем самым облегчая запуск двигателя, плавность процесса сгорания и снижая расход топлива. Как известно, цетановое число во многом зависит от химического состава дизельного топлива и структуры углеводородов, составляющих топливо. Ароматические углеводороды снижают цетановое число, поэтому для его улучшения необходимо удаление из топлива, тем или иным способом, ароматических углеводородов, что и происходит вследствие озонирования.

Рассмотренные в статье аналитическое обоснование использования энергии торможения для активации топливоздушнoй смеси, в частности, озонирования топлива, позволяют сделать вывод о возможности и перспективности дальнейшего развития данного направления.

Исследование физико-химических свойств топлива количественно показали влияния на них озонирования. Плотность ДТ увеличивается незначительно (до 0,2%), вязкость – до 2,8 %, температура вспышки – для ДТ увеличивается до 13 °С. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение связи между изменениями этих характеристик и экономическими и экологическими показателями двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кожевников, В. А. Область тормозных режимов тягового электродвигателя [Текст] / В. А. Кожевников // Сб. Лен. ин-та инженеров ж.д. транспорта. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – Вып. 159. – С. 178-189.
2. Аронов, М. И. Электрический тормоз тепловоза без балластного резистора [Текст] / М. И. Аронов // Вестник ВНИИЖТ. – 1978. – № 3. – С. 14-16.
3. Краснянская, С. Н. Исследование электрического тормоза с целью повышения экономичности и эксплуатационной надежности тепловозов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: 1979. – 26 с.
4. Могила, В. И. Использование бросовой энергии торможения тепловоза для повышения эффективности тепловозных дизелей [Текст] / В. И. Могила, Е. С. Ноженко // Сб. науч. тр. – Х.: УкрДАЗТ, 2007. – Вып. 82. – С. 153-157.
5. Деев, В. В. Тяга поездов [Текст] : уч. пособие для вузов / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин; под ред. В. В. Деева. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
6. Ресурсосберегающие технологии в контакте «грёбень колеса – рельс» [Текст] / Н. И. Горбунов и др. // Вестник ВУНУ им. В. Даля. – 2008. – № 5, ч. 1. – С. 76-82.
7. Звонов, В. А. Влияние на рабочий процесс ДВС активирования топлива внешними физическими воздействиями [Текст] / В. А. Звонов, Н. А. Макаров // Двигатели внутреннего сгорания. – Х., 2008. – № 2. – С. 112-121.
8. Мирзаджаидзе, А. Х. Технология добычи природных газов [Текст] / И. М. Аметов, К. С. Басниев и др. – М.: Недра, 1987. – 414 с.
9. Классен, В. И. Омагничивание водных систем [Текст]. – 2-е изд. / В. И. Классен. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
10. Давидзон, М. И. Электромагнитная обработка водных систем в текстильной промышленности [Текст] / М. И. Давидзон. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 178 с.
11. Моторные, реактивные и ракетные топлива [Текст] / под ред. К. К. Папок, Е. Г. Семенидо. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 741 с.
12. Докторов, М. В. Методы снижения техногенного воздействия на окружающую среду при эксплуатации ракетно-космической техники [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.16. – СПб., 2000.
13. Nasser, S. H. A novel fuel efficient and emission combustion engines. 982561 [Текст] / S. H. Nasser, S. Morris, S. James. – Society of Automobile Engineers, Inc., 1998. – 16 p.
14. Столяренко, Г. С. Теоретические основы гетерофазных озонных процессов и технология денитрификации газовых потоков [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.17.01. – К.: НТУ «КПИ», 2000.
15. Влияние озонирования на энерго-экологические показатели тепловозного дизеля [Текст] / А. Л. Голубенко и др. // Вестник ВУНУ им. В. Даля. – 2008. – ч. 1. – № 5 (123). – С. 149-153.
16. Разумовский, С. Д. Озон и его реакции с органическими соединениями [Текст] / С. Д. Разумовский, Г. У. Заиков. – М.: Наука, 1974. – 239 с.

Поступила в редколлегию 30.07.2009