

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА

© 2011 И. Н. Козменков, Д. Я. Носырев

Самарский государственный университет путей сообщения

В статье представлен способ повышения эффективности работы дизелей тепловозов с помощью электрической обработки топлива. Получено выражение, позволяющее оценить увеличение доли активных центров в топливе после его обработки с помощью электрического разряда. Развита модель диффузионного горения топлива после его обработки. Представлены эксперименты по обработке и выгоранию дизельного топлива. Проведено моделирование рабочего процесса дизеля тепловоза 10Д100 при использовании электротермической обработки топлива. Полученные в работе результаты связывают параметры обработки топлива с показателями дизеля. Это позволяет обеспечить обратную связь и более эффективное использование обработки топлива в локомотивных энергетических установках.

Обработка топлива, электрическая обработка, диффузионное горение, активные центры, моделирование рабочего процесса.

Необходимость новых разработок, направленных на повышение экономичности и экологической безопасности на железнодорожном транспорте, определяется политикой компании ОАО «РЖД». Компания имеет долгосрочные технологические ориентиры для машиностроительного комплекса. Поэтому повышение экономической и экологической эффективности работы тепловозных дизелей является одной из наиболее актуальных задач на железнодорожном транспорте. На осуществление тяги поездов тепловозами расходуется около 3 млн. т дизельного топлива в год. Постоянно увеличивается его дефицит и растет стоимость. Так, цена дизельного топлива для тепловозов с конца 2000 г. возросла с 5 тыс. до 18-20 тыс. руб. за тонну на 2010 г. В связи с этим возникает необходимость в обеспечении устойчивого снабжения тепловозов моторным топливом в настоящее время и в перспективе, а также в снижении расходов на его приобретение. Одним из способов улучшения показателей дизелей тепловозов является электрическая обработка топлива.

Электротермическая обработка топлива

Экспериментально установлено, что наиболее эффективным способом электрической обработки топлива является обработка топлива с помощью электрического разряда.

Согласно закону Арениуса, доля активных частиц в топливе составляет $\rho_0 = e^{-\frac{E_a}{RT}}$.

Здесь E_a – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная, T – температура. При разряде в топливе происходит увеличение доли активных частиц за счет потраченной энергии. Это увеличение доли активных частиц эквивалентно увеличению частиц, которое произошло бы при нагревании всего объема топлива на температуру ΔT . Энергия, необходимая для увеличения температуры на ΔT , равняется $Q = cm\Delta T$, где c – теплопроводность топлива, m – масса топлива. При этом доля активных частиц станет равна $\rho = e^{-\frac{E_a}{R(T+\Delta T)}}$, т.е. доля активных частиц увеличится на

$$\Delta\rho = e^{-\frac{E_a}{R(T+\Delta T)}} - e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (1)$$

или

$$\Delta\rho = e^{-\frac{E_a}{R(T+\frac{Q}{cm})}} - e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

или

$$\frac{\rho}{\rho_0} = e^{\frac{E_a}{RT} - \frac{E_a}{R(T+\frac{Q}{cm})}}. \quad (3)$$

Исходя из закона сохранения энергии, для образования такого количества активных

частиц необходимо то же количество энергии. При этом энергия, затраченная на разряд, частично переходит в тепловую (кинетическую) энергию молекул, но в большей степени идёт на разрушение тяжёлых и образование более лёгких углеводородов, образование водорода, активных радикалов и молекул со свободной валентностью и переходит в энергию электри-

ческого взаимодействия ионизированных частиц.

Число активных молекул при разряде в топливе увеличивается экспоненциально с увеличением энергии, затраченной на этот разряд. Зависимость относительного увеличения доли активных частиц от энергии разряда, рассчитанная по полученному выражению (3), представлена на рис. 1.

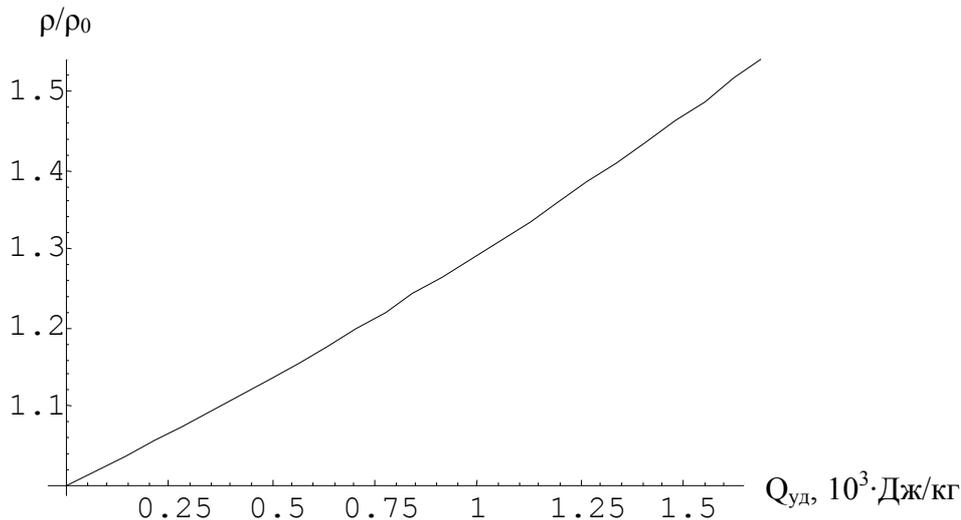


Рис. 1. Зависимость относительного увеличения доли активных частиц от удельной энергии разряда

Проведено экспериментальное исследование электрической обработки топлива с помощью разряда (рис. 2). При обработке топлива с помощью электрического разряда удельное сопротивление топлива также уменьшалось. Сопротивление топлива после обработки его электрическим разрядом постепенно возвращалось к прежним значениям, но не достигало первоначальных значений как минимум 15 мин (рис.2).

Электрическое воздействие на топливо порождает химические реакции одновременно в двух фазах: в жидкости и плазме. Цепной химический процесс побуждается той частью энергии разряда, которая внедряется в жидкую фазу: бомбардирующие частицы и жесткое излучение формируют лавину свободных радикалов и заряженных частиц. Частота возникновения лавины свободных радикалов и их энергия определяются напряженностью электрического поля, характеристиками разряда, его энергетическими возможностями и энергетическими составляющими, а также физико-

химическими свойствами жидкости. После образования свободных радикалов и прочих инициирующих цепную реакцию частиц процесс в жидкости развивается по законам цепной реакции при заданной температуре: с вовлечением кислорода, с вторичными реакциями, с развитием цепи и ее обрывом. Основные продукты – водород и легкие углеводороды (без ацетилена), высокомолекулярные соединения. В плазме химические реакции развиваются по-другому. Энергия разряда атомизирует попавшиеся на пути молекулы жидкости. Рекомбинация образованных осколков в плазменной фазе приводит в основном к образованию водорода и ацетилена [1].

Как показал анализ, при построении моделей, описывающих электропроводность топлива, существует много факторов, которые сложно проконтролировать [2,3], поэтому основываться нужно на полуэмпирических выражениях. Экспериментально установлено, что после разряда в топливе остаётся постоянный во времени эффект (рис.2).

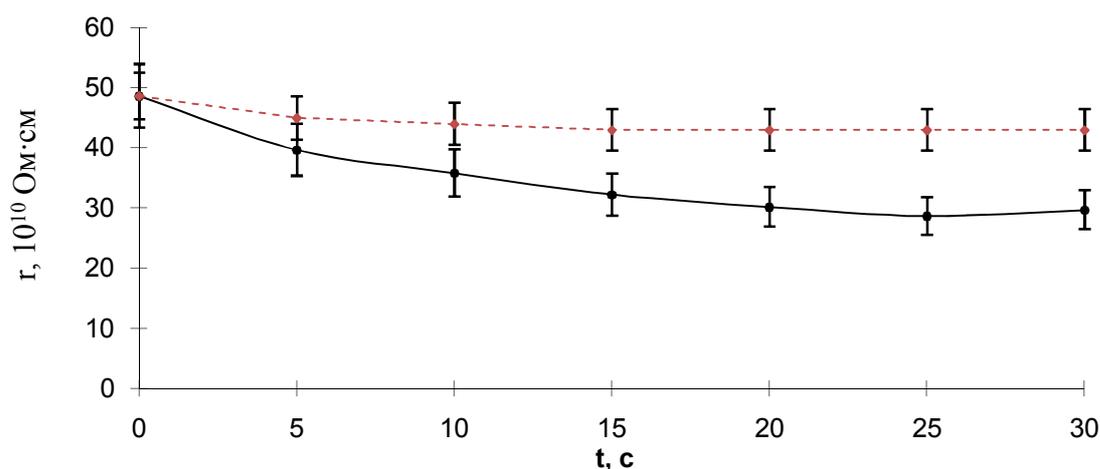


Рис. 2. Зависимость сопротивления топлива от времени обработки при постоянном пробойном напряжении, подаваемом на параллельные пластины ($U=41$ кВ/см). Сплошная линия – сразу после обработки, штриховая – после 15 мин выдержки

На основе полученных данных об удельном сопротивлении топлива сразу после обработки и выдержки в 15 мин рассчитаны зависимость относительной доли сохраняющихся

заряженных частиц и относительное увеличение электропроводности сразу после разряда от удельной энергии разряда (рис. 3).

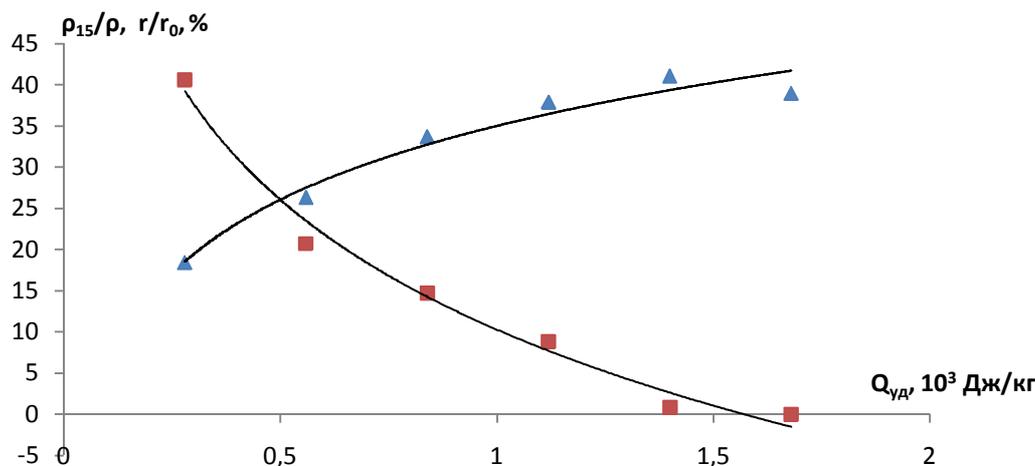


Рис. 3. Зависимость увеличения доли заряженных частиц после выдержки от удельной энергии разряда (■), относительное увеличение электропроводности (▲)

Таким образом, в определённый момент происходит выравнивание скорости образования заряженных частиц и скорости их рекомбинации.

Поэтому для описания влияния электрической обработки топлива на увеличение доли активных центров в нём необходимо использовать формулу (3) с учётом полученных экспериментальных данных, т.е. учесть энергетический предел обработки топлива.

Выгорание дизельного топлива после его обработки

На основе тепловой теории Я.Б. Зельдовича в работе [4] получено решение для массовой скорости выгорания топлива со свободной поверхности. В данной работе полученные выражения были развиты и применены для описания зависимости массовой скорости выгорания дизельного топлива от доли активных центров:

$$m_v = A \sqrt{\frac{\rho}{\ln \frac{T}{T_0}}} \quad (4)$$

где A – коэффициент, зависящий от теплопроводности, давления, плотности газовой фазы, порядка реакции и т.п., но который при выбранных условиях эксперимента остается по-

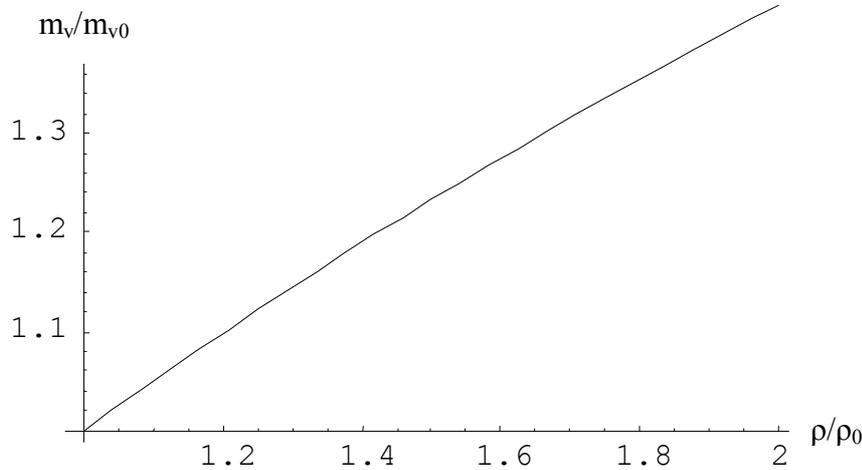


Рис. 4. Зависимость относительного изменения массовой скорости от относительного изменения доли активных центров

Массовая скорость горения необработанного дизельного топлива составила

$$m_v = 24,78 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$$

При обработке топлива с помощью разряда, при затрате энергии в 0,78 кДж/кг массовая скорость горения составила

$$m_v = 28,13 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$$

Как следует из полученных результатов, массовая скорость горения топлива при электротермической обработке топлива с помощью разряда увеличилась на $3,78 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$ или, соответственно на, 13,5%.

Согласно выражению (3) при затрате энергии 0,78 кДж/кг количество активных центров должно увеличиться в 1,22 раза. Результаты эксперимента подтверждают допустимость полученных выражений для оценки увеличения доли активных молекул. Из полученных результатов следует вывод, что практически вся затраченная энергия идёт на создание активных молекул и не рассеивается.

Исходя из результатов, полученных при исследовании электропроводности (рис. 3), можно сделать вывод, что при увеличении удельной энергии обработки можно добиться увеличения доли частиц в 1,53 раза. Такое увеличение доли активных частиц приведёт к увеличению массовой скорости горения на 24,6 %.

стоянным. На рис. 4 представлен график зависимости относительного увеличения массовой скорости от относительного увеличения доли активных центров, рассчитанный по формуле (4).

Моделирование динамики сгорания топлива после его электрической обработки в цилиндре дизеля

Для оценки влияния электротермической обработки топлива на показатели дизеля выбрана методика моделирования рабочего процесса, предложенная профессором И.И. Вибе [5]. Для описания процесса сгорания используют уравнение

$$x = 1 - e^{-6,908 \left(\frac{t}{t_z} \right)^{m+1}} \quad (5)$$

Это уравнение И.И. Вибе назвал эмпирическим уравнением выгорания топлива в двигателях внутреннего сгорания [6]. Здесь (t/t_z) - относительное время, его можно заменить соответствующим отношением (φ_i/φ_z) , в котором φ_i – угол поворота коленчатого вала двигателя, отсчитываемый от начала сгорания; φ_z – продолжительность сгорания, выраженная в градусах поворота коленчатого вала (ПКВ), m – показатель характера сгорания.

Параметры φ_z и m имеют определённый физический смысл. Параметр φ_z и, соответственно, t_z , определяет не только общую продолжительность сгорания, но также является показателем средней скорости сгорания. Параметр m полностью определяет относи-

тельное время, при котором скорость сгорания достигает максимума.

Для средней относительной скорости сгорания справедливо соотношение

$$w_{cp} = \frac{x_z}{t_z} = \frac{0,999}{t_z} \approx \frac{1}{t_z}, c^{-1} \quad (6)$$

Таким образом, параметры t_z (φ_z) характеризуют скорость сгорания с количественной стороны.

Для исследования влияния электротермической обработки топлива на показатели работы дизеля была смоделирована индикаторная диаграмма тепловозного дизеля 10Д100.

С учётом развитых представлений и построенной модели, позволяющей связать обработку топлива с показателями дизеля, эффект электрической обработки топлива

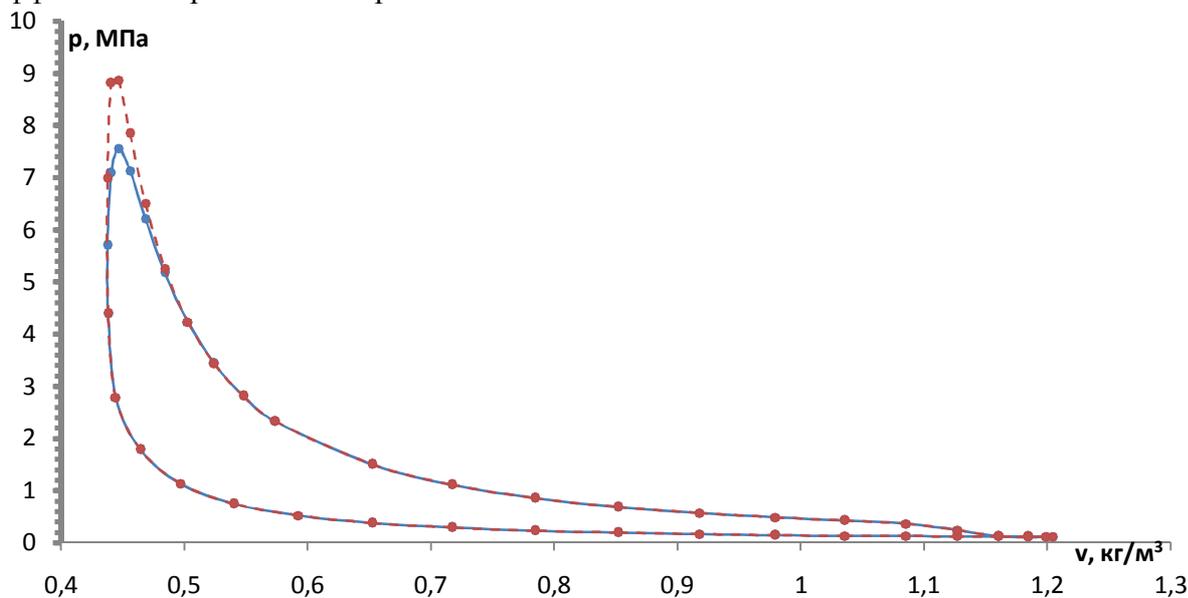


Рис. 5. Свёрнутая индикаторная диаграмма дизеля 10Д100 на 11 позиции контролера машиниста без обработки топлива (сплошная) и после обработки (штриховая)

Эффект электрической обработки топлива достигает 4,18 % увеличения мощности и КПД дизеля и снижения удельного расхода топлива на 4 %. Это связано с сокращением продолжительности процесса выгорания топлива. Разряд в топливе позволяет интенсифицировать выгорание топлива и при этом улучшить показатели дизелей.

Библиографический список

1. Аракелян, В.Г. Физико-химические аспекты газостойкости изоляционных жидкостей к воздействию электрических разря-

дов. http://www.vei.ru/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=7&Itemid=45.

2. Жакин, А.И. Ионная электропроводность и комплексообразование в жидких диэлектриках [Текст] / А.И. Жакин // УФН 173 51, 2003. - С. 51-68.

3. Ушаков, В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей [Текст] / В.Я. Ушаков - ТГУ, 1975. - 258 с.

4. Леонов, Г.Н. Механизм и особенности горения самореагирующих конденсированных систем [Текст] / Г.Н. Леонов, В.В. Евстигнеев // Вестник Алтайского государст-

венного технического университета им. И.И. Ползунова Прилож. к журн. "Ползуновский альманах" № 2, 1999. – С. 4-8.

5. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателя [Текст] / И.И. Вибе - изд-во МАШГИЗ, 1962. - 173 с.

6. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и рас-

чёт процессов [Текст]: учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарфонов, В.В. Клементьев - Челябинск: изд-во ЮУрГУ, 2004. - 344 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DIESEL ENGINES BY MEANS OF ELECTRO-PROCESSING OF FUEL

© 2011 I. N. Kozmenkov, D. Ya. Nosyrev

Samara State University of Transport

In the article the method of diesel locomotive efficiency upgrading by the process of electrical fuel manufacturing is presented. An expression capable for evaluating the increase of proportion of active centers in the fuel after manufacturing by an electric discharge was obtained. A model of fuel diffusion combustion after manufacturing was developed. Processing and burning diesel fuel experiments are presented. Simulating of the work process of a diesel locomotive 10Д100' diesel engine by using of electrothermal processing of fuel is conducted. The results received in work connect parameters of fuel manufacturing with diesel engine indicators. This allows providing feedback and more effective usage of fuel manufacturing in locomotive power stations.

Fuel manufacturing, electrical manufacturing, diffusion combustion, active center, simulating of the work process.

Информация об авторах

Козменков Игорь Николаевич, аспирант кафедры «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения. Тел.: 8-902-291-6982. E-mail: kozmenkovigor@ya.ru. Область научных интересов: физика горения.

Носырев Дмитрий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения. Тел.: (846)-999-01-67. E-mail: tfnkdl@mail.ru. Область научных интересов: внутрицилиндровые процессы.

Kozmenkov Igor Nikolaevich, postgraduate of of department «Locomotives» of Samara State University of Transport. Phone: 8-902-291-6982. E-mail: kozmenkovigor@ya.ru. Area of research: physics of combustion.

Nosyrev Dmitriy Yakovlevich, Doctor of technical Sciences, Professor of department «Locomotives» of Samara State University of Transport. Phone: (846)-999-01-67. E-mail: tfnkdl@mail.ru. Area of research: inside the cylinder processes.