

# Влияние параметров электрического поля коронного разряда на горение дизельного топлива

Н. В. Ксенз, И. В. Юдаев, И. Г. Сидорцов, Т. Н. Толстоухова

*Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,  
ул. Ленина, 21, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740, Россия, e-mail: [etsh1965@mail.ru](mailto:etsh1965@mail.ru)*

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния полярности и значения напряженности электрического поля коронирующего электрода на скорость горения и интенсивность сгорания дизельного топлива ДЗ. Проведенные исследования показали, что максимальное эффективное воздействие на увеличение скорости горения и интенсификацию сгорания дизельного топлива оказывает отрицательная корона при напряженности электрического поля коронирующего электрода 250–352 кВ/см. Это можно объяснить тем фактом, что при отрицательной короне перемещаемые под действием электрического поля заряженные частицы и увлекаемые ими электрически нейтральные молекулы создают аэродинамический поток, который под действием возрастающей разности потенциалов между электродами интенсифицирует газообмен вблизи поверхности горения и тем самым облегчает доступ окислителя, например образующегося при этом озона, в область сгорания топлива.

*Ключевые слова: жидкое топливо, напряженность электрического поля, коронирующий электрод, полярность, скорость и интенсивность горения.*

УДК 633.15:581.1.03

## ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что эффективность преобразования химической энергии углеводородного топлива в процессе его горения в тепловую крайне низка. Так, в двигателях внутреннего сгорания она достигает значения менее 25%, а на теплоэлектростанциях не превышает 40%. Если же учесть совокупные затраты энергии на добычу и переработку первичного сырья, а также его транспортировку, то суммарный КПД существующих «огневых технологий» составит всего лишь 10–15%. Даже такой беглый анализ позволяет говорить о том, что больше половины химической энергии топлива переходит в тепло и участвует в создании и образовании выбросов разнообразных токсичных веществ, которые отравляют и загрязняют атмосферу нашей планеты [1].

В различных процессах сельскохозяйственно-го производства жидкое углеводородное топливо используется в качестве первичного энергоносителя при получении тепла, расходуемого для технологических нужд как в растениеводстве, так и в животноводстве. Очень высок процент его использования в кормопроизводстве при предварительной обработке как кормового сырья, так и самих кормов. Такие технологические операции характеризуются низким совокупным КПД, так как основной агрегат – котел-парообразователь – имеет эксплуатационный КПД всего 50–55%, что объясняется большими потерями, связанными с неполным сгоранием топлива, составляющими 15–25% от общих

потерь тепловой энергии [2, 3]. Снизить эти потери можно за счет улучшения качественных показателей процесса горения.

Известно, что пламя обладает электрическими свойствами, и экспериментально установлено, что в пламени существует разделение зарядов, образующихся в процессе сгорания топлива, причем положительный объемный заряд сосредоточен во фронте пламени, а отрицательный – в предпламенной зоне. Выполненные исследования позволили получить ряд данных, проливающих свет на процессы ионообразования в пламени, однако вопрос о роли заряженных частиц в процессе горения остается пока открытым [4, 5].

Интенсифицировать сжигание топлива можно различными химическими и физическими способами, но наиболее эффективным вариантом, на наш взгляд, является применение электрических полей [6–10]. Добиться положительного эффекта можно за счет наложения на пламя или топливно-воздушную среду неоднородных электрических полей, используемых в качестве реагентов процесса горения [11, 12].

В роли электрофизического влияющего фактора может быть использовано электрическое поле коронного разряда. В области горения с наложенным на нее коронным разрядом происходят процессы ионизации, диссоциации и возбуждения молекул воздушной среды и топлива, а также наблюдается образование озона  $O_3$ , который, как известно, является сильным окислителем [7, 13–15]. Существенное влияние на изменение скорости горения, качество сгорания топлива и другие сопутствующие явления оказы-

вают также такие влияющие факторы, как направление электрического поля относительно линии тока пламени, а также полярность электродов, между которыми создается накладываемое на пламя поле. Все ранее перечисленные факторы способствуют возрастанию скорости горения топлива и соответственно снижению тепловых потерь от его химического недожога.

Цель работы – изучение влияния полярности коронирующего электрода и напряженности электрического поля на скорость и интенсивность горения дизельного топлива ДЗ.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования проводили на установке, схема которой представлена на рис. 1.

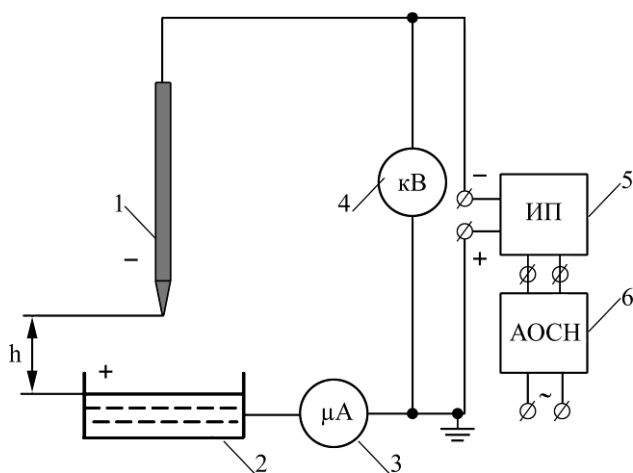


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – электрод; 2 – емкость с топливом; 3 – микроамперметр ЭМКС-58М; 4 – киловольтметр С-196; 5 – высоковольтный источник питания ИП; 6 – автотрансформатор АОСН-20-220-75-У4.

Лабораторная установка включала в себя следующие структурные блоки: 1) автотрансформатор, основной задачей которого являлось регулирование значения питающего напряжения переменного тока промышленной частоты и подача его на вход высоковольтного источника; 2) высоковольтный источник питания, который выпрямлял переменное напряжение и повышал его значение до необходимого уровня; 3) экспериментальную емкость-ячейку, в которой размещалось обрабатываемое жидкое топливо; 4) систему рабочих электродов, включающую в себя острый электрод, выполненный из прутковой стали, и электрод, в роли которого выступал корпус металлической емкости-ячейки; 5) киловольтметр и микроамперметр, с помощью которых контролировались значения подаваемого на электроды высокого напряжения и протекающего тока разряда.

Электрод 1, изготовленный из стали диаметром 4 мм, устанавливали над металлической

емкостью 2, которая с помощью мерной трубки наполнялась топливом. В качестве топлива использовали дизельное зимнее топливо ДЗ как одно из наиболее широко применяемых при эксплуатации котлов-парообразователей. В каждом опыте количество сжигаемого топлива было одинаковым и составляло дозу 3 мл. В качестве фитиля использовали асбестовый шнур Ø3 мм, который кольцами укладывали в емкость с используемым топливом.

На электрод 1 и корпус емкости 2 подавали высокое напряжение постоянного тока от высоковольтного источника питания 5. Напряжение между электродом 1 и корпусом емкости 2 в процессе опытов изменялось в пределах от 0 до 10 кВ с шагом через 2 кВ, что осуществлялось с помощью автотрансформатора 6. Измерялось подаваемое на электроды напряжение киловольтметром 4, а продолжительность горения фиксировалась секундомером. В контрольном варианте опыты проводили без подачи напряжения на рабочие электроды. Во всех экспериментах повторность опытов была трехкратной.

Во время исследований электрическое поле создавалось между заряженным корпусом емкости-ячейки с топливом и острым электродом, расположенным в факеле пламени, то есть эксперименты проводились в продольном по отношению к пламени электрическом поле. Это поле между высоковольтными электродами побуждало перемещаться заряженные частицы, которые образовывались в результате реакций горения топлива в зависимости от полярности электродов. Организовывалось, например, для случая подключения к отрицательному выводу высоковольтного источника питания острейшего электрода, а к положительному – корпуса емкости с топливом, следующее движение заряженных частиц: к емкости-ячейке устремлялся поток электронов, а положительные ионы получали дополнительное количество движения по ходу потока пламени. При смене полярности на электродах происходило изменение движения заряженных частиц.

Интенсивность горения топлива вычислялась формулой:

$$\Delta t = \frac{t_K - t_Э}{t_Э} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – интенсивность горения, %;  $t_Э$  и  $t_K$  – продолжительность горения топлива в электрическом поле и при его отсутствии (контроль), с.

Напряженность электрического поля у коронирующего электрода определялась по хорошо известной формуле [16]:

$$E = \frac{4 \cdot U}{\ln\left(4 \cdot \frac{h}{r}\right)} \cdot \frac{1}{r}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение между электродом 1 и емкостью 2, В;  $h$  – расстояние между электродом 1 и корпусом емкости 2, м;  $r$  – радиус кривизны острого коронирующего электрода 1, м.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в результате экспериментальных исследований данные были обобщены, проанализированы и на их основе построены графические зависимости, представленные на рис. 2 и 3.

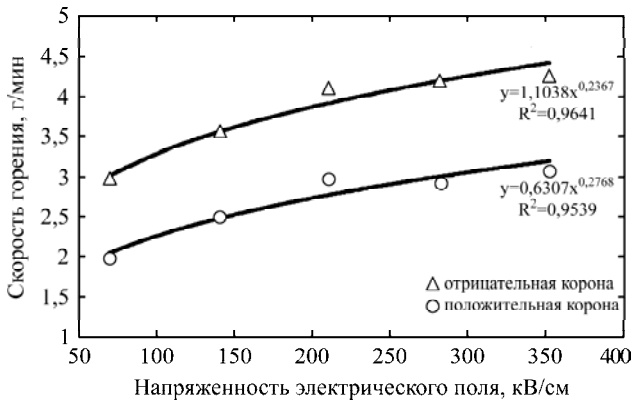


Рис. 2. Зависимость скорости горения дизельного топлива ДЗ от напряженности  $E$  и полярности коронирующего электрода.

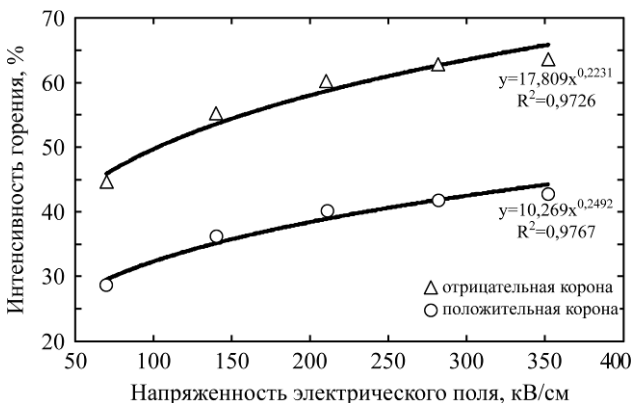


Рис. 3. Зависимость интенсивности горения дизельного топлива ДЗ от напряженности  $E$  коронирующего электрода.

Представленные на рис. 2 и 3 зависимости характеризуются постоянной скоростью роста изучаемых параметров (скорость и интенсивность горения топлива) от напряженности электрического поля, что позволяет аппроксимировать их степенными функциями вида:

$$v_2 = a_1 \cdot E^{b_1}, \quad (3)$$

$$\Delta t = a_2 \cdot E^{b_2}, \quad (4)$$

где  $v_2$  – скорость горения топлива, г/мин;  $\Delta t$  – интенсивность горения, %;  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – константы, зависящие от полярности короны, вида топлива и других влияющих факторов,  $a_1$  [см·мин/кВ·г],  $a_2$  [см·%/кВ],  $b_1$  и  $b_2$  [о.е];  $E$  – напряженность электрического поля, кВ/см.

Дополнительным доказательством именно степенного характера поведения представленных зависимостей может выступать тот факт, что при этом наблюдается очень тесная связь (коэффициент определенности, величина достоверности аппроксимации или  $R^2$  больше 0,9) между скоростью горения топлива и напряженностью электрического поля (см. рис. 2), а также интенсивностью горения и той же напряженностью электрического поля (см. рис. 3) при различной полярности коронирующего электрода.

Анализ результатов проведенных экспериментов говорит о том, что наложение электрического поля, вне зависимости от его полярности, приводит к возрастанию скорости горения топлива. Так, при эксперименте с отрицательной короной скорость горения увеличилась в 2,8 раза, а с положительной – в 1,9 раза. Характер поведения зависимостей, представленных на рис. 2, показывает, что при изменении напряженности на электродах от 0 до 352 кВ/см скорость горения топлива изменилась от 1,54 г/мин при отсутствии электрического поля до 4,32 г/мин для отрицательной короны (см. кривая 1, рис. 2) и 2,99 г/мин – для положительной короны (см. кривая 2, рис. 2). Отношение максимальных скоростей в зоне отрицательной и положительной короны составило 1,47 раза. Это можно объяснить следующим: при отрицательной короне перемещаемые под действием электрического поля заряженные частицы и увлекаемые ими электрически нейтральные молекулы создавали аэродинамический поток, который под действием разности потенциалов интенсифицировал газообмен вблизи поверхности горения и тем самым облегчал доступ окислителя, например образующегося при этом озона, в эту область. Наличие повышенной концентрации отрицательных зарядов в области горения интенсифицирует сгорание топлива и тем самым увеличивает скорость горения.

Зависимости интенсивности горения топлива от напряженности электрического поля для разных полярностей коронирующего электрода представлены на рис. 3. Из этих зависимостей видно, что изменение напряженности на разрядном промежутке от 70 до 352 кВ/см приводит к увеличению интенсификации горения с 45 до 64% для отрицательной короны (см. кривая 1, рис. 3) и с 29 до 43% для положительной короны (см. кривая 2, рис. 3). Такой характер изменения и количественные показатели интенсивности сгорания топлива определяются положительным влиянием повышенной концентрации отрицательных ионов на процесс горения дизельного топлива. Также можно говорить о возможном доокислении некоторых токсичных веществ в озонированной среде.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментов можно констатировать следующее.

1. Наиболее эффективное действие на увеличение скорости горения и интенсивность сгорания дизельного топлива ДЗ оказывает отрицательная корона при изменении напряженности электрического поля коронирующего электрода в пределах 250–352 кВ/см.

2. Полученные результаты исследований позволяют разработать дополнительные и доработать существующие конструктивные решения, используемые в котлах-парообразователях, повышающие эффективность топливных установок разных типов за счет интенсификации процесса сгорания дизельного топлива ДЗ в электрическом поле коронного разряда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнова О.С. *Топливо и теория горения. Часть II. Теория горения*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2011. 142 с.
2. Солдатов В.В. *Сборник трудов ВИЭСХ*. М.: ВИЭСХ, 1989, **73**, 95–101.
3. Гольдман В.Л., Кривицкая Ф.А. Эффективная эксплуатация котельных установок – путь к сокращению энергозатрат. *Сборник трудов ВИЭСХ*, М.: ВИЭСХ, 1985, **64**, 93–98.
4. Фиалков Б.С., Щербачев Н.Д., Плицин В.Т. *Физика горения и взрыва*. 1978, **4**(20), 36–39.
5. Лавров Ф.А., Малиновский А.Э. *Журнал физической химии*. 1933, **4**(3–4), 530–534.
6. Звонов В.А., Макаров Н.А. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2008, (2), 112–121.
7. Ксенз Н.В., Чеба Б.Н. *Электроактивированные среды в технологиях сельскохозяйственного производства*. зерноград: ФГОУ ВПО Азово-Черноморская агроинженерная академия, 2011. 278 с.
8. Ковалишин Б.М. *Промышленная теплотехника*. 2012, **34**(5), 37–44.
9. Малиновский А.Э., Лавров Ф.А. *Журнал физической химии*. 1931, **2**(3–4), 530–534.
10. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. *Электрические аспекты горения*. М.: Энергия, 1976. 296 с.
11. Пат. 103139 Российская Федерация МПК<sup>6</sup> F02M27/04 *Электрический активатор топлива*. Заявитель и патентообладатель Дудышев В.Д. № 2010140835/28, дата рег. 05.10.2010, опубл. 27.03.2011.
12. Sher E., Pinhasi G., Pokravalo A. and Bar-On R. *Combustion and Flame*. 1993, **94**, 244–252.
13. Ксенз Н.В., Сидорцов И.Г., Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2015, (12), 17–19.
14. Степанов Е.М., Дьячков Б.Г. *Ионизация в пламени и электрическом поле*. М.: Металлургия, 1968. 310 с.
15. Пантелеев А.Ф., Попков Г.А., Шебеко Ю.Н. *Физика горения и взрыва*. 1992, (3), 36–39.
16. Долгинов А.И. *Техника высоких напряжений в электроэнергетике*. М.: Энергия, 1968. С. 40–41.

Поступила 17.06.16

## Summary

The widespread application of fossil fuels in various industrial processes determines the need to explore methods of intensifying the process of their combustion. One of the stimulants that affects the quality and intensity of combustion is the electric field. The paper presents results of experimental studies of the effect of polarity and the intension of the corona electrode electric field on the combustion rate and intensity of combusting D3 diesel fuel. The conducted research has shown that the maximum effective impact on the increase of the combustion rate and the intensification of burning of diesel fuel has a negative crown when the strenght of the corona electrode electric field is of 250–352 kV/cm. This can be explained by the fact that at the negative corona moved by an electric field the charged particles and electrically neutral molecules carried away by them create an aerodynamic flow, that under the action of increasing potential difference between the electrodes intensifies exchange of gases near the combustion surface and thus facilitates the oxidant access, for example, of ozone, formed at this time, to the fuel combustion area.

*Keywords: liquid fuel, electric field strength, the corona electrode, polarity, rate and intensity of burning.*