

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

А. П. Сологубов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. И. Злотников

Несмотря на то что процесс горения известен уже тысячи лет, механизм этого явления полностью еще не изучен. Конечно, основные процессы, протекающие при горении, известны достаточно хорошо. Но задача рационального, управляемого и экологически чистого процесса горения остается важной как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах.

Пламя представляет собой раскаленную светящуюся газообразную среду, содержащую плазму и некоторое количество мелкодисперсных твердых частиц. В этой среде происходят различные физико-химические процессы, приводящие к тепловыделению, разогреву и свечению. Основным источником тепла – химические реакции окисления продуктов горения. Заряженными частицами пламени являются положительные ионы (как отдельные ионизированные атомы, так и многоатомные радикалы), образующиеся преимущественно вследствие химической ионизации, и отрицательные электроны. Стационарное пламя обладает в целом нейтральным зарядом, но заряженные частицы распределены в нем неравномерно. Наружный конус (зона реакций окисления) имеет преимущественно положительный заряд, а внутренний – отрицательный. Это вызвано разной подвижностью ионов и электронов: ионы из-за малой подвижности создают положительный заряд в месте своего возникновения, а подвижные электроны покидают фронт пламени и образуют отрицательный заряд во внутреннем конусе. Концентрация заряженных частиц в пламени составляет около 10^{12} ионов на 1 см^3 [1], [2]. Наличие в пламени заряженных частиц в высоких концентрациях приводит к выводу о возможности воздействия на процесс горения путем наложения на пламя электрических полей.

При включении электрического поля в пламени возникает встречный ток положительных ионов и отрицательных электронов. По закону Ома, плотность тока j равна $j = \sigma E$, где σ – проводимость пламени, E – напряженность электрического поля. Проводимость пламени определяется, в первую очередь, подвижностью заряженных частиц: $\sigma = n(u_+ + u_-)e$, где n – концентрация положительных или отрицательных ионов (для однократно ионизованных атомов эти величины одинаковы); u_+ и u_- – подвижности положительного иона и электрона; e – заряд электрона. Подвижность заряженной частицы обратно пропорциональна ее массе. Так как масса электрона во много раз меньше массы ионов, то $u_+ \ll u_-$, следовательно, электропроводность пламени обусловлена в основном движением электронов под действием электрического поля.

Обычно рассматриваются три вида воздействия электрического поля на пламя [2]:

1. *Переход энергии электрического поля в тепловую.* Так как пламя представляет собой проводник, то при прохождении через него электрического тока в нем будет выделяться теплота. По закону Джоуля–Ленца, $w = \sigma E^2$, где w – количество теплоты, выделяющейся в единице объема пламени за 1 с.

2. *Прямое воздействие электрического поля на процесс горения.* При воздействии электрического поля увеличивается кинетическая энергия движения электронов и ионов, которая при их столкновениях с молекулами переходит в тепло, в результате чего возрастает температура пламени и скорость горения.

3. *Ионный ветер* – перемещение положительных ионов к отрицательному электроду, которые увлекают нейтральные частицы, что изменяет режим и скорость горения.

Целью данной работы является экспериментальное изучение влияния электрического поля на картину горения бензина.

В качестве источника напряжения использовали аппарат для аэроионизации воздуха АФ-3, который позволяет получать максимальное выходное напряжение до 50 кВ. Воздействие электрического поля на интенсивность горения определяли на специальном стенде, схема которого показана на рис. 1. Для исключения влияния движения воздуха в помещении на процесс горения стенд был помещен в защитный контейнер, изготовленный из оргстекла.

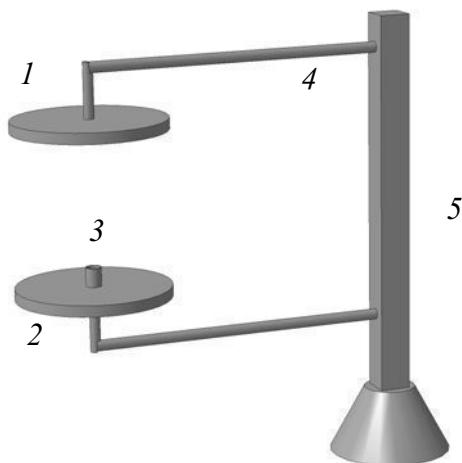


Рис. 1. Схема установки:
1 – верхний электрод; 2 – нижний электрод; 3 – бокс с бензином;
4 – диэлектрический кронштейн;
5 – металлическая стойка



Рис. 2. Горение бензина без электрического поля

На рис. 2 приведена фотография стационарного горения бензина без наложения электрического поля. Хорошо виден ламинарный характер движения газа в факеле, причем заметно, что сгорание бензина неполное и образуется копоть – частицы сажи.

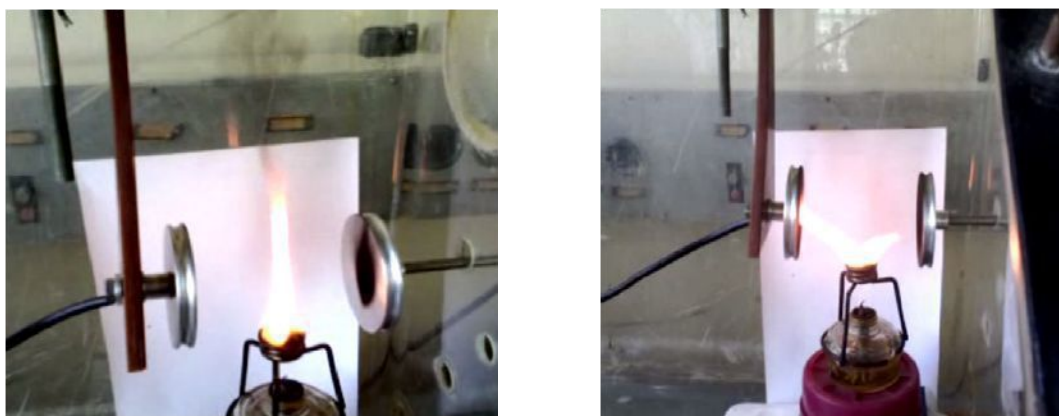
После включения электрического поля, направленного вертикально вверх, высота пламени уменьшается, копоть исчезает, что свидетельствует о полноте сгорания бензина (рис. 3, *a*). Это можно объяснить тем, что электроны устремляются вниз, их количество во фронте пламени уменьшается, и процесс рекомбинации ионов и электронов замедляется, вследствие чего процесс ионизации протекает более интенсивно. Кроме того, электроны, ускоряясь в электрическом поле, увлекают за собой и нейтральные молекулы, в результате чего высота пламени уменьшается, а время нахождения продуктов горения в высокотемпературной зоне пламени увеличивается, что увеличивает полноту сгорания. Положительные ионы, как отмечалось выше, имеют значительно меньшую подвижность, скорость их движения вверх под действием электрического поля не превышает скорости конвекционного движения газа пламени и мало влияет на размеры пламени.

Если направление электрического поля поменять на обратное (отрицательный полюс на нижнем электроде), то режим горения принципиально меняется (рис. 3, *б*). В этом случае положительные ионы интенсивно притягиваются к нижнему отрицательному электроду, и пламя выходит на внешнюю сторону бюкса. Поскольку конвекционный поток газов в пламени устремлен вверх (туда же направлен и поток электронов), то возникают два встречных газовых потока, что приводит к переходу от ламинарного факела к турбулентному. Ширина и высота пламени резко увеличиваются, а возникающая турбулентность приводит к неполному сгоранию бензина и образованию копоти.

*a)**б)*

Рис. 3. Горение бензина в электрическом поле напряженностью 150 кВ/м:
a – отрицательный полюс на верхнем электроде; *б* – отрицательный полюс на нижнем электроде

В горизонтальном электрическом поле (рис. 4) пламя разделяется на два несимметричных факела, больший из которых отклоняется к катоду. Следовательно, положительные ионы сильнее увлекают газы пламени (ионный ветер), чем электроны, причем при невысоких значениях напряженности электрического поля эффект разделения пламени незаметен. Хорошо видно, что копоть почти исчезает, что свидетельствует о полноте сгорания.



а)

б)

Рис. 4. Горение бензина в горизонтальном электрическом поле, отрицательный полюс слева: а – напряженность поля 20 кВ/м; б – напряженность поля 150 кВ/м

Таким образом, проведенные опыты показывают, что электрическое поле оказывает значительное влияние на процесс горения. Развитие исследований в этом направлении позволит успешно применять электрические поля для повышения эффективности и экологической чистоты процессов горения.

Л и т е р а т у р а

1. Шленский, О. Ф. Режимы горения материалов / О. Ф. Шленский, В. С. Сиренко, В. А. Егорова. – М. : Машиностроение, 2011. – 220 с.
2. Кидин, Н. И. Влияние внешних электромагнитных полей на процессы горения / Н. И. Кидин. – Режим доступа: <http://www.ism.ac.ru/sgv/rtf/121.rtf>.