

УДК 536.46

О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ

Ильюшонок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И.

Дан краткий обзор ряда работ, посвященных исследованию влияния электрического поля на процесс горения.

Ключевые слова: электрическое поле, пламя, процесс горения, тушение горения.

(Поступила в редакцию 18 марта 2019 г.)

Исследования влияния электрического поля на процессы горения проводятся на протяжении длительного времени. Из первых работ отметим [1], где описаны эксперименты по выяснению влияния напряженности поля на скорость распространения воспламененной газовой смеси при разных давлениях. Зажигание смеси ацетилена с воздухом проводилось в стеклянной трубке диаметром 2,12 см и длиной 22 см. Внутри помещались две медные пластинки, образующие вдоль трубки клиновидный конденсатор длиной 20 см с просветами 2,8 мм в нижней части и 7,8 мм в верхней части. Напряжение на конденсатор подавалось от батареи аккумуляторов и могло меняться в пределах 0–1200 В. Подбирая скорость протекания газовой смеси, равную скорости распространения пламени, авторы [1] наблюдали стационарное горение газовой смеси под уменьшенным давлением на определенной высоте между пластинами конденсатора.

Опуская детали проведения эксперимента, приведем некоторые результаты.

На рисунке 1 представлены графики зависимости выраженного в процентах уменьшения скорости горения от напряженности электрического поля в конденсаторе. Кривая *I* соответствует давлению $6 \cdot 10^4$ Па, кривая *II* – давлению в трубке $8,4 \cdot 10^4$ Па. Из графиков следует, что при более низком давлении действие электрического поля сильнее.

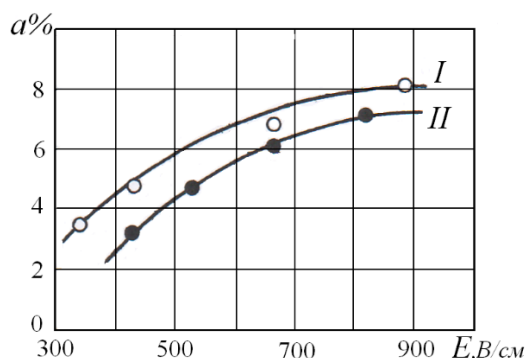


Рисунок 1. – Изменение скорости горения в зависимости от напряженности электрического поля, выраженное в процентах от скорости в отсутствие поля

На рисунке 2 приведены графики зависимости между давлением в трубке и скоростью распространения воспламенений без электрического поля при сгорании смеси на разных сечениях конденсатора. Замечательным результатом явилось то, что при включении электрического поля происходило тушение пламени, когда напряженность электрического поля достигала определенных значений. Числа на кривых указывают значение напряженности поля в В/см, при которых это происходит. Из графиков также следует, что величина напряженности электрического поля, вызывающего тушение, возрастает с увеличением скорости горения.

В описанных экспериментах электрическое поле является поперечным (напряженность поля перпендикулярна оси пламени). Влияние продольного электрического поля на процессы горения газовой смеси анализировалось, в частности в [2], где авторы, основываясь на результатах ранее проведенных экспериментов, указывают, что при определенных значениях напряженности электрического поля удавалось гасить пламя смесей различных углеводородов с воздухом.

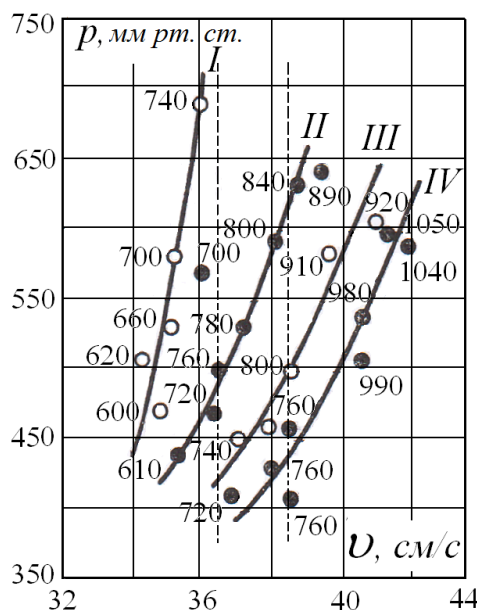


Рисунок 2. – Тушение пламени электрическим полем при различных давлениях

Результаты и анализ большого количества экспериментов, проводимых позже разными исследователями, приведены в [3]. Авторы рассматривают различные варианты наложения поля на пламя. Способы наложения продольного электрического поля показаны на рисунке 3. При включении поля по схеме *a* на горелку подается отрицательный потенциал, на электрод – положительный. Как следствие, положительно заряженные ионы движутся к горелке, а электроны – к электроду. Если поле включается по варианту *б*, направление движения электронов меняется на противоположное. В вариантах *в* и *г* электрод отсутствует, а горелке сообщается отрицательный либо положительный заряд.

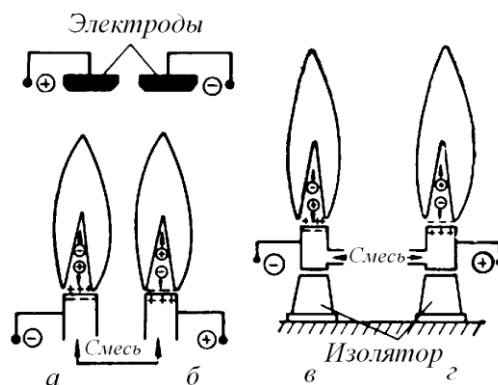


Рисунок 3. – Способы наложения электрического поля

В [3] проведен теоретический анализ влияния электрического поля на пламя посредством возникновения ионного ветра, превращения энергии электрического поля в тепловую и прямого воздействия поля на процесс горения. Последний механизм предполагает, что под действием поля электроны, сгенерированные самим пламенем, приобретают энергию, достаточную для образования при столкновении с нейтральными частицами новых активных центров.

Наблюдения показывают, что высота газо-воздушного пламени при наложении продольного электрического поля уменьшается, причем это уменьшение имеет место при любом направлении продольного электрического поля. На рисунке 4 приведен график зависимости высоты пламени горения городского газа, содержащего от 70 до 95 % метана, от напряжения на горелке. Аналогичный эффект наблюдался авторами [3] при сжигании бензина.

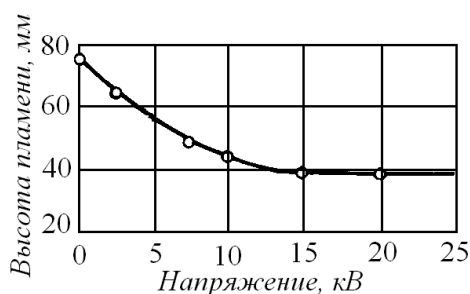


Рисунок 4. – Уменьшение высоты пламени городского газа в постоянном электрическом поле

В поперечном электрическом поле наблюдается отклонение пламени к катоду, что приводит к изменению геометрии пламени и скорости процесса горения. На рисунках 5 и 6 приведены полученные разными авторами графики скорости распространения пламени в зависимости от напряжения между электродами.

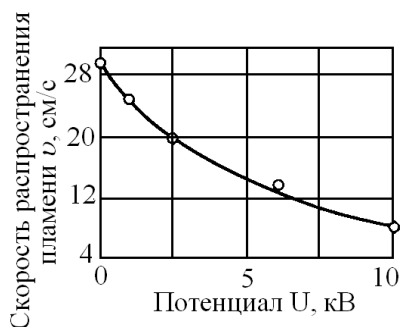


Рисунок 5. – Изменение скорости распространения углеводородного пламени в зависимости от прилагаемого потенциала

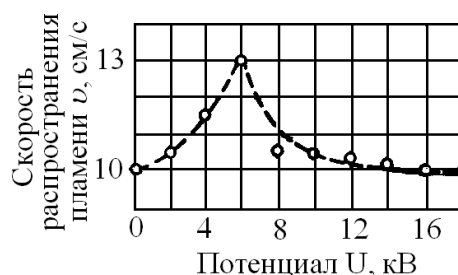


Рисунок 6. – Изменение скорости распространения пламени СО в зависимости от прилагаемого потенциала

По-видимому, наличие максимума на рисунке 6 отражает изменение кинетики процесса горения.

В [3] описаны эксперименты по стабилизации ацетиленового пламени электрическим зарядом, который подавался на горелку.

В работе [4] приведены результаты исследования влияния на пламя пропан-бутановой смеси продольного и поперечного электрического поля аксиальной геометрии. Ламинарное пламя формировалось на срезе заземленной однотрубной горелки, внутренний диаметр которой равнялся 10 мм. При подаче напряжения на кольцевой электрод диаметром 50 мм, находящийся на высоте 50–100 мм над срезом горелки, создавалось продольное электрическое поле. Для создания поперечного электрического поля использовался цилиндрический электрод, коаксиальный с горелкой и изготовленный из металлической сетки с размером ячейки 1×1 мм. Диаметр электрода равнялся 70 мм, высота – 200 мм, его нижняя кромка была ниже среза горелки на 20–30 мм, верхняя – выше вершины пламени примерно на такую же величину.

Как показали эксперименты, продольное электрическое поле очень слабо влияет на высоту, диаметр и форму пламени. Однако, когда напряжение достаточно велико, а условия горения близки к предельным, удается добиться гашения пламени.

При подаче на цилиндрический электрод небольшого положительного потенциала геометрия пламени остается практически неизменной. При подаче же отрицательного потенциала ~ 1 кВ в пламени возникают заметные мелкомасштабные возмущения, которые растут при увеличении подаваемого напряжения. Пламя приобретает форму цветка, после чего гаснет при небольшом увеличении напряжения.

По мнению авторов [4], результаты экспериментов могут быть объяснены следующим образом. В зоне подготовки фронта пламени локализованы преимущественно положительно заряженные ионы. С внешней стороны светящейся зоны сосредоточены преимуще-

ственно отрицательно заряженные ионы. При подаче на сеточный электрод отрицательного потенциала электрическое поле заставляет положительно заряженные ионы двигаться к внешней части пламени, а отрицательно заряженные – к внутренней. Ионы вовлекают в движение и нейтральные частицы, возникает ионный ветер, который двигает горячие продукты реакции на периферию пламени. Это приводит к охлаждению зоны реакции и, как следствие, при достижении достаточных напряжений – гашению пламени. При подаче на электрод положительного потенциала ионный ветер направлен к оси пламени и приводит к его стабилизации. Эксперименты также показали, что при подаче переменного напряжения частотой 50 Гц напряжение гашения возрастает.

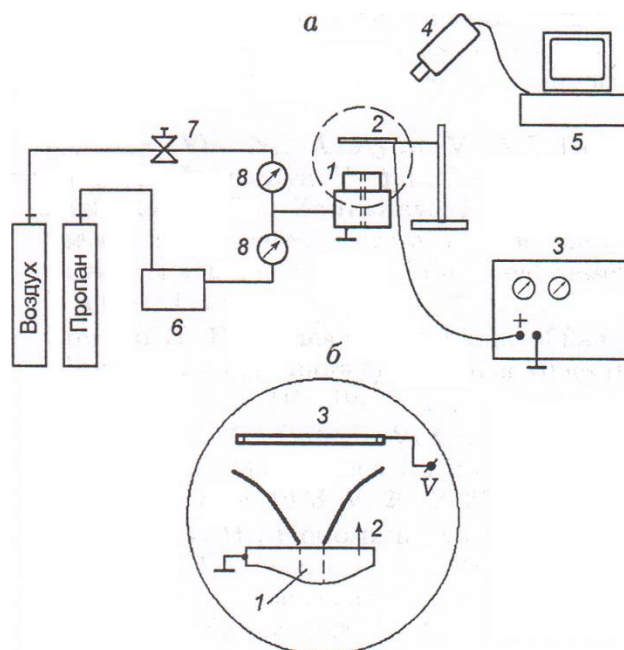
Механизмы воздействия внешнего электрического поля на процессы воспламенения и горения проанализированы в работе [5]. Подчеркивается, что воздействие поля может быть обусловлено возникновением ионного ветра, прямым влиянием на кинетику химических реакций или воздействием джоулева тепла, однако влияние последнего фактора на характеристики воспламенения и горения различных топливных композиций пренебрежимо мало вследствие малости величины допробойного тока в пламени. Степень же влияния каждого из двух первых факторов существенно зависит от полярности прикладываемого напряжения, вида топлива и конструкции камеры сгорания. Отметим также работу [6], в которой изучалось влияние электрического поля на концентрационные пределы распространения пламени пропана в воздухе.

Эксперименты, имевшие целью сравнение влияния на пламя постоянного и переменного электрического поля высокой частоты ($5 \cdot 10^5$ – $6 \cdot 10^5$ Гц), были проведены еще в 20-е и 30-е годы прошлого столетия и описаны в [7]. Горение смеси C_2H_2 с воздухом проходило в клиновидном конденсаторе, состоявшем из двух латунных и двух стеклянных пластинок. Газовая смесь подводилась к конденсатору снизу по трубке и поджигалась пламенем спиртовки возле верхнего края конденсатора. При использовавшихся концентрациях ацетилена в смеси (23–25 % и 18–20 %) пламя разделялось на две части: внешний конус, горевший у верхнего края конденсатора, и внутренний конус, горевший на некоторой глубине, которая зависела от скорости подачи смеси, концентрации C_2H_2 в ней и поперечного сечения конденсатора. Исследование влияния поля на пламя производилось над этим внутренним конусом. Напряженность постоянного электрического поля менялась в пределах 200–1500 В/см, переменного – в пределах 300–2900 В/см.

Результаты экспериментов показали, что скорость распространения пламени в смесях ацетилена с воздухом уменьшается как в постоянном, так и в переменном электрическом поле. Влияние постоянного электрического поля на процент уменьшения скорости пламени примерно в два раза больше, чем переменного. Влияние как постоянного, так и переменного электрического поля на скорость распространения пламени уменьшается с увеличением этой скорости. Отметим, что не обнаружено влияния на скорость распространения пламени в смеси водорода с воздухом как постоянного, так и переменного поля.

Одним из результатов экспериментов явилось то, что при распространении пламени в смеси ацетилена с воздухом при скоростях пламени $\sim 23,8$ см/с наблюдалось полное ионное гашение внутреннего конуса пламени, когда напряженность постоянного поля равнялась 1428 В/см и переменного – 2857 В/см.

Влияние постоянного и импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси изучалось, в частности, в работе [8]. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 7. В экспериментах сопло было заземлено. Смесь вытекала из сопла диаметром 20 мм со средней скоростью $0,5 \div 2$ м/с. Электрод-кольцо диаметром 28 мм располагался на высоте 40 мм. На электрод подавалось постоянное либо импульсно-периодическое напряжение $0 \div 4$ кВ. Геометрическая форма пламени фиксировалась камерой технического зрения по изучению пламени на длине волны радикала C_2 .



а – общий вид: 1 – горелочное устройство (сопло); 2 – электрод; 3 – электрическая схема; 4 – камера; 5 – компьютер; *б* – блок дозирования газов; 7 – воздушный редуктор; 8 – расходомеры; *б* – схема стабилизации: 1 – стабилизатор (центральное тело); 2 – поток смеси; 3 – кольцо (положительный электрод)

Рисунок 7. – Схема экспериментальной установки

Эксперименты показали, что при подаче напряжения происходит изменение формы пламени, причиной которого может быть возникновение ионного ветра. В ламинарном режиме горения при изменении постоянного напряжения до 3,4 кВ скорость распространения пламени увеличивается примерно на 20 %. Для турбулентного режима эта скорость увеличивается примерно на 30 %. При подаче на электрод переменного напряжения 1 кВ при изменении частоты подачи импульсов длительностью 4 мс от 150 Гц увеличение частоты приводит к значительному увеличению скорости распространения пламени, имевшей место при наложении постоянного поля. В экспериментах обнаружено также влияние постоянного электрического поля на устойчивость пламени при переходе от ламинарного режима горения к турбулентному.

Результаты исследования влияния импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси изложены также в работах [9] и [10]. В экспериментах, описанных в [9], на плоские вертикальные электроды подавалось импульсно-периодическое напряжение величиной до 3,8 кВ. Частота импульсов равнялась 5 Гц, длительности импульса – 100 мс. Камера технического зрения регистрировала геометрическую форму пламени по его свечению на длине волны радикала СН. Наблюдалось изменение положения фронта пламени и его растяжение при наложении поля. Как отмечают авторы, положение фронта пламени зависит от частоты и длительности импульсов напряжения, что может быть использовано для управления положением области горения.

В работе [10] приведены результаты экспериментов по исследованию влияния импульсно-периодического поля на фронт пропановоздушного пламени горелки типа Бунзена. На рисунке 8 представлена схема эксперимента. Внутренний диаметр трубки, в которой происходило горение, равнялся 13,5 мм, ее длина – 800 мм. Использовались кольцевые электроды диаметром 20 мм с расстоянием между ними 25 мм, а также плоскопараллельные пластины размером 70×60 мм, расстояние между которыми равнялось 30 мм. На электроды подавались импульсы напряжения величиной до 3 кВ.

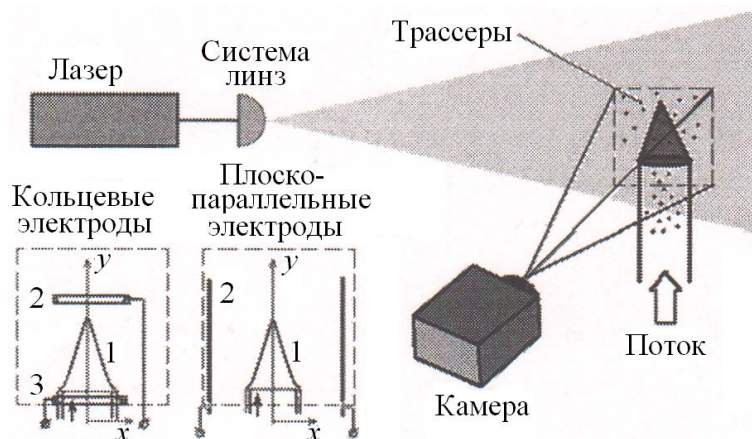


Рисунок 8. – Схема эксперимента: 1 – пламя; 2, 3 – электроды

Методом эмиссионной томографии проведено восстановление радиального распределения радикала СН в ламинарном пропановоздушном пламени в отсутствие электрического поля и после его включения (рис. 9).

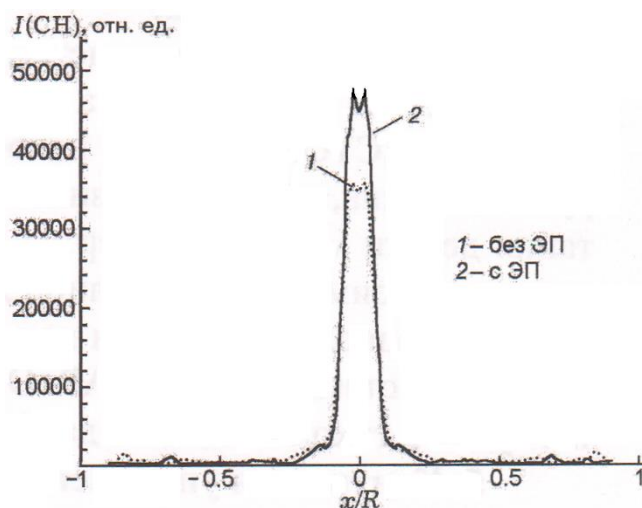


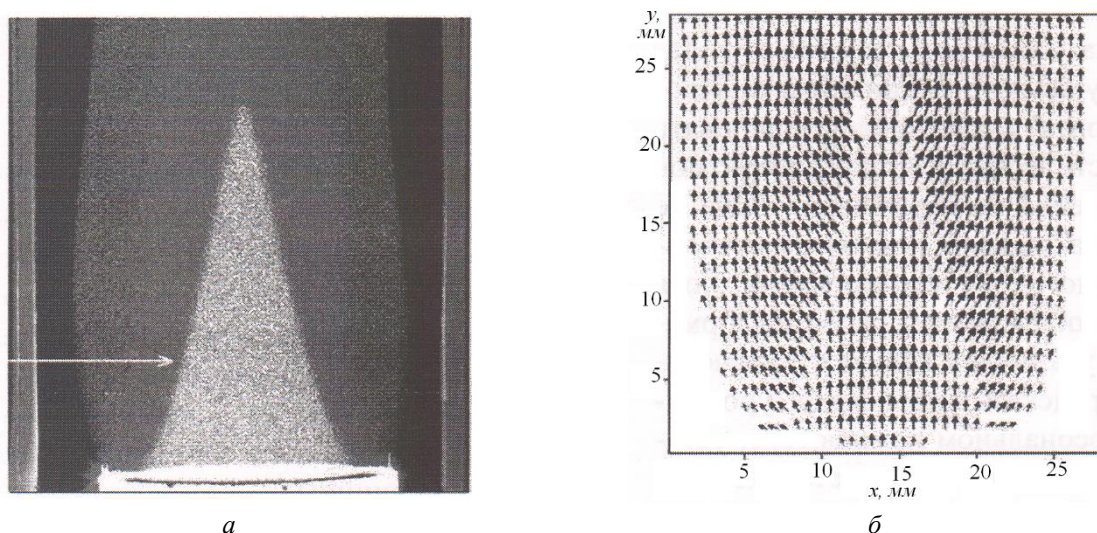
Рисунок 9. – Томографическое восстановление радиального распределения радикала СН в вершине пламени

Полученные авторами [10] данные говорят о локальном воздействии электрического поля на зону химических реакций и об отсутствии влияния поля на процессы в предпламенной зоне.

Для определения распределения поля скорости в пламени методом PIV поток газа засеивался частицами оксида титана со средним диаметром 1 мкм. Изображение пламени и определенное по нему поле скоростей (без электрического поля) представлены на рисунке 10.

Эксперимент показал, что при включении поля скорость потока внутри конуса пламени не меняется, а заметные изменения поля скорости происходят в области реакции и за зоной горения. При этом наблюдается деформация фронта пламени и возрастает скорость его распространения.

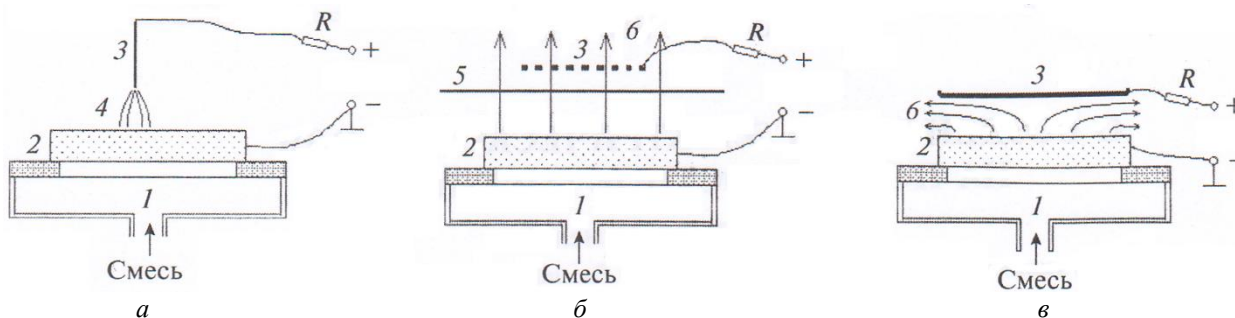
Воздействие электрического поля на поверхностное горение описано, в частности, в [11]. Опыты проводились на горелочном устройстве с плоской проницаемой матрицей, изготовленной из пенометалла, толщина которой составляла 8 или 12 мм, диаметр – 80 мм, объемная пористость – 82 %, поверхностная проницаемость – 0,4, диаметр пор – 0,8 мм. В опытах была использована горючая смесь природного газа и воздуха. Горение смеси проходило над поверхностью матрицы.



a – получаемое изображение; *б* – поле скоростей

Рисунок 10. – Регистрация скоростей пропановоздушного пламени горелки типа Бунзена методом PIV

Электрическое поле создавалось между электродами, одним из которых служила матрица. На некотором расстоянии H от нее был расположен второй электрод, в качестве которого бралась тонкая стальная проволока, ориентированная перпендикулярно матрице (рис. 11*а*), или тонкая металлическая сетка, параллельная матрице (рис. 11*б*). Помимо этого, в некоторых экспериментах был использован электрод в виде непроницаемого диска, параллельного матрице (рис. 11*в*).

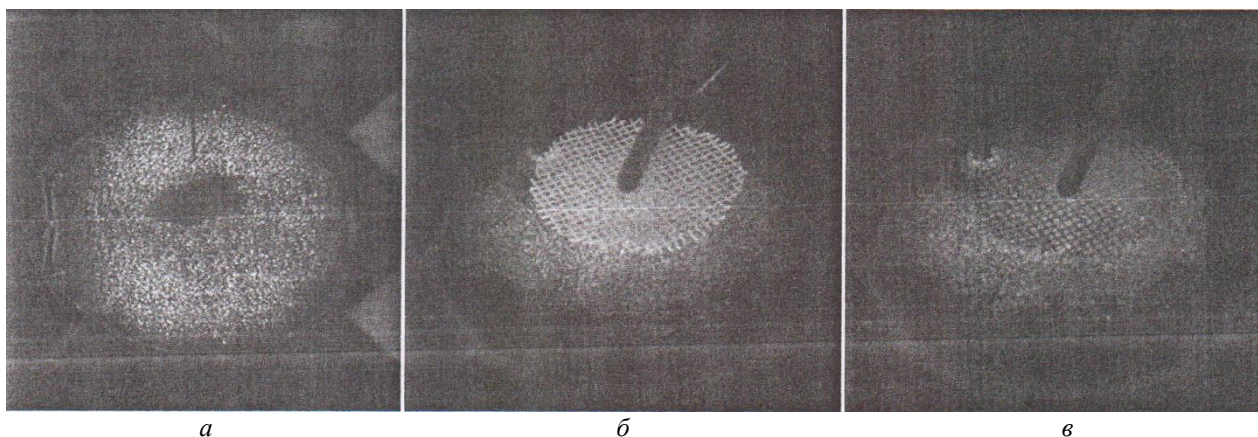


1 – горелочное устройство; *2* – матрица; *3* – электрод; *4* – электрическое поле;
5 – нихромовая проволока; *6* – поток продуктов сгорания

Рисунок 11. – Схемы экспериментов

Вид поверхностного горения показан на рисунке 12. В опытах положительный или отрицательный потенциал до 10 кВ подавался на электрод через сопротивление $R = 3 \text{ МОм}$ от источника высоковольтного напряжения.

Как отмечается в [11], в опытах с проволочным электродом обнаруживается интересный эффект. При подаче высокого положительного потенциала на электрод наблюдается «запирание» поверхностного горения в области под электродом. На светящейся матрице образуется темное пятно (рис. 12*а*), которое при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,2$, удельной мощности горения $w = 30 \text{ Вт/см}^2$ и $H = 15 \text{ мм}$ имеет характерный размер $\sim 20 \text{ мм}$ при подаче максимального предпробойного напряжения $U = 8 \text{ кВ}$. Размер темной области сокращается с уменьшением напряжения.



a – при подаче напряжения в 8 кВ на проволочный электрод; *b* – без напряжения на сетчатом электроде; *v* – при подаче напряжения в 2,3 кВ на электрод

Рисунок 12. – Поверхностное горение

Зависимость эффективной температуры поверхности матрицы от напряжения на проволочном электроде приведена на рисунке 13. Как указывается в [11], эффект «запирания» поверхностного горения может быть обусловлен двумя причинами: либо удалением фронта пламени от поверхности, либо уменьшением локальной мощности горения вследствие увеличения локального газодинамического сопротивления потоку благодаря противодействию ионного ветра. Первый случай может реализовываться при высокой неравновесной концентрации электронов на фронте пламени, приводящей к образованию большого количества ионов кислорода.

Во втором случае «запирание» возможно из-за противодействия ионного ветра, который создается преимущественно положительно заряженными атомами азота.

Измерение усредненной по области пятна диаметром 20 мм под электродом температуры показало, что ее падение в темной области матрицы при запирании поверхностного горения достигает величины 230 К.

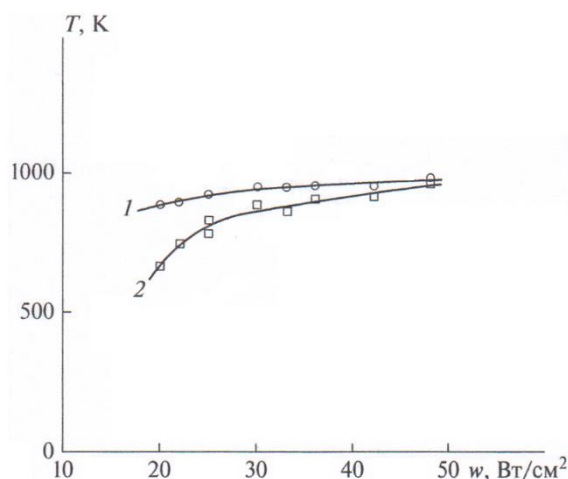


Рисунок 13. – Зависимость температуры поверхности матрицы в присутствии поля (2) и без него (1) для проволочного электрода от удельной мощности горения при $a = 1,05$; $U = 1$ кВ; $H = 20$ мм

При замене проволочного электрода на сетку при напряженности поля $E = 1,9$ кВ/см, $w = 40$ Вт/см², $H = 12$ мм под сеткой не происходило «запирание» поверхностного горения. Однако наблюдался эффект падения температуры и, как следствие, снижение радиационного потока от сетки к матрице, уменьшение температуры ее поверхности на 30–50 К. Это происходит потому, что движение положительных ионов от сетки создает ионный ветер, в результате чего поток заворачивает в сторону и коэффициент теплоотдачи к сетке уменьшается.

В случае горения смесей с коэффициентом избытка воздуха $\alpha < 1$ проволочный электрод над поверхностью матрицы раскалялся, но при подаче высокого напряжения он темнел, а поверхность матрицы раскалялась. Охлаждение электрода обусловлено уменьшением теплоотдачи от пламени, нагрев поверхности матрицы является следствием прижатия пламени к ее поверхности. Электрическое поле влияет на кинетику химических реакций, увеличивая скорость горения. Пламя прижимается к поверхности, когда эта скорость превышает скорость газовой смеси на выходе из матрицы.

При положительной полярности матрицы не наблюдалось ее потемнения под электродом. Опыты с дисковым электродом показали также, что температура матрицы и электрода уменьшается примерно на 40–45 К при напряжении 10 кВ. Электрическое поле вызывает расширение потока, вследствие чего уменьшается коэффициент теплоотдачи продуктов сгорания к электроду.

Таким образом, в пламени содержится значительное количество заряженных частиц – положительных и отрицательных ионов, электронов. Управляя их движением посредством наложения электрического поля, можно управлять процессом горения и тем самым решать различные технические задачи, в частности задачу повышения степени сгорания топлива. Причем, в отличие от управления процессом горения посредством акустических волн [12], в методе управления посредством электрического поля практически отсутствуют энергозатраты, т. к. сила тока незначительна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малиновский, А.Э. Влияние электрического поля на процессы горений при пониженных давлениях / А.Э. Малиновский, К.Е. Егоров // ЖЭТФ. – 1934. – Т. 4, вып. 2. – С. 208–214.
2. Лавров, Ф.А. Влияние продольного электрического поля на процесс горения газовых смесей / Ф.А. Лавров, А.Э. Малиновский // ЖФХ. – 1933. – Т. IV, вып. I. – С. 104–108.
3. Степанов, Е.М. Ионизация в пламени и электрическое поле / Е.М. Степанов, Б.Г. Дьячков. – М.: Металлургия, 1968. – 310 с.
4. Гуляев, Г.А. О влиянии постоянного электрического поля на горение смеси пропан-бутан с воздухом / Г.А. Гуляев, Г.А. Попков, Ю.Н. Шебеко // ФГВ. – 1985. – Т. 21, № 4. – С. 23–35.
5. Ягодников, Д.А. Влияние внешнего электрического поля на особенности процессов воспламенения и горения / Д.А. Ягодников, А.В. Воронежский // ФГВ. – 1994. – Т. 30, № 3. – С. 3–12.
6. Пантелеев, А.Ф. Влияние электрического поля на концентрационные пределы распространения пламени пропана в воздухе / А.Ф. Пантелеев, Г.А. Панков [и др.] // ФГВ. – 1991. – Т. 27, № 1. – С. 26–28.
7. Малиновский, А.Э. Влияние переменного электрического поля высокой частоты на скорость горения газа / А.Э. Малиновский, В.С. Россыхин, В.П. Тишковский // ЖЭТФ. – 1934. – Т. 4, вып. 2. – С. 183–187.
8. Гаранин, А.Ф. Влияние постоянного и импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси / А.Ф. Гаранин, П.К. Третьяков, А.В. Тупикин // ФГВ. – 2008. – Т. 44, № 1. – С. 22–25.
9. Воронцов, С.С. Динамика фронта ламинарного пламени гомогенной пропановоздушной смеси при импульсно-периодическом воздействии электрического поля / С.С. Воронцов, О.В. Ганеев, П.К. Третьяков, А.В. Тупикин // ФГВ. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 29–32.
10. Третьяков, П.К. Ламинарное пропановоздушное пламя в слабом электрическом поле / П.К. Третьяков, А.В. Тупикин [и др.] // ФГВ. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 9–14.
11. Шмелев, В.М. О воздействии электрического поля на поверхностное горение / В.М. Шмелев // Химическая физика. – 2016. – Т. 35, № 2. – С. 33–40.
12. Ильюшонок, А.В. О влиянии звуковых волн на процессы горения // А.В. Ильюшонок, И.А. Гончаренко, Н.С. Лешенюк, В.К. Кулешов, В.И. Терешенков // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 26–34.

О влиянии электрического поля на процесс горения
On the influence of electric field on combustion processes

Ильюшонок Александр Васильевич

кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра естественных наук,
заведующий кафедрой

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: iav@tut.by

Alexander V. Il'ushonok

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

The State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Natural Sciences, Head of Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: iav@tut.by

Гончаренко Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра естественных наук,
профессор

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: igor02@tut.by

Igor A. Goncharenko

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Professor

The State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Natural Sciences, Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: igor02@tut.by

Лешенюк Николай Степанович

доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра естественных наук,
профессор

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

Nikolay S. Leshenyuk

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Professor

The State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Natural Sciences, Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

Кулешов Владимир Константинович

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра естественных наук,
заведующий лабораторией

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25

Vladimir V. Kuleshov

PhD in Technical Sciences

The State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Natural Sciences, Head of the Laboratory

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25

Терешенков Владимир Иванович

кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра естественных наук, доцент

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25

Vladimir I. Tereshenkov

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

The State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus», Chair
of Natural Sciences, Associate Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25

ON THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELD ON COMBUSTION PROCESSES

Il'yushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenyuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I.

Purpose. The purpose of the paper is to present the brief survey of the state of research in the field of interaction of the flame with electric field.

Findings. The electric field could be effectively utilized for controlling the combustion process for the purpose of increasing the fuel using efficiency and decreasing the pollutant emission.

Application field of research. The obtained results could be used for development of alternative methods of fire control and extinguishing.

Conclusions. The presented researches showed that the flame contains the substantial quantity of the charged particles: positive and negative ions, electrons. By controlling their movement with the help of applied electric field it is possible to control the combustion process and solve various technical problems, in particular, the problem of increasing the fuel burn rate.

Keywords: electric field, flame, combustion process, extinguishing of combustion.

(The date of submitting: March 18, 2019)

REFERENCES

1. Malinovskiy A.E., Egorov K.E. Vliyanie elektricheskogo polya na protsessy goreniy pri ponizhennykh davleniyakh [Influence of the electric field on combustion processes under decreased pressure]. *JETP*, 1934. Vol. 4, No. 2. Pp. 208–214. (rus)
2. Lavrov F.A., Malinovskiy A.E. Vliyanie prodol'nogo elektricheskogo polya na protsess goreniya gazovykh smesey [Influence of the longitudinal electric field on combustion process gas mixture]. *Journal of Physical Chemistry*, 1933. Vol. IV, No. I. Pp. 104–108. (rus)
3. Stepanov E.M. *Ionizatsiya v plameni i elektricheskoe pole* [Ionization in flame and electric field]. Moscow: Metallurgy, 1968. 310 p. (rus)
4. Gulyaev G.A., Popkov G.A., Shebeko Yu.N. O vliyani postoyannogo elektricheskogo polya na gorenje smesi propan-butana s vozdukhom [On the influence of continuous electric field on combustion of the mixture of propane-butane with air]. *Physics of combustion and explosion*, 1985. Vol. 21, No. 4. Pp. 23–35. (rus)
5. Yagodnikov D.A., Voronetskiy A.V. Vliyanie vneshnego elektricheskogo polya na osobennosti protsessov vosplamneniya i goreniya [Influence of the external electric field on ignition and combustion processes features]. *Physics of combustion and explosion*, 1994. Vol. 30, No. 3. Pp. 3–12. (rus)
6. Panteleev A.F., Pankov G.A., Shebeko Yu.N., Tsarichenko S.G., Gorshkov V.I. Vliyanie elektricheskogo polya na kontsentratsionnye predely rasprostraneniya plameni propana v vozdukh [Influence of the electric field on concentration limits of the propagation of propane flame in air]. *Physics of combustion and explosion*, 1991. Vol. 27, No. 1. Pp. 26–28. (rus)
7. Malinovskiy A.E., Rossyhin V.S., Tishkovskiy V.P. Vliyanie peremennogo elektricheskogo polya vysokoy chastoty na skorost' goreniya gaza [Influence of the high frequency alternative electric field on gases combustion rate]. *JETP*, 1934. Vol. 4, No. 2. Pp. 183–187. (rus)
8. Garanin A.F., Tret'yakov P.K., Tupikin A.V. Vliyanie postoyannogo i impul'sno-periodicheskogo elektricheskogo polya na gorenje propanovozdushnoy smesi [Influence of the continuous and pulse-periodic electric field on combustion of propane-air mixture]. *Physics of combustion and explosion*, 2008. Vol. 44, No. 1. Pp. 22–25. (rus)
9. Vorontsov S.S., Ganeev O.V., Tret'yakov P.K., Tupikin A.V. Dinamika fronta laminarnogo plameni gomogennoy propanovozdushnoy smesi pri imul'sno-periodicheskom vozdeystvii elektricheskogo polya [Dynamics of the laminar flame front of homogeneous propane-air mixture]. *Physics of combustion and explosion*, 2009. Vol. 45, No. 5. Pp. 29–32. (rus)
10. Tret'yakov P.K., Tupikin A.V., N.V. Denisova, O.V. Ganeev, V.V. Zamastchikov, Yu.S. Kozorezov. Laminarnoe propanovozdushnoe plamya v slabom elektricheskom pole [Laminar propane-air flame in a weak electric field]. *Physics of combustion and explosion*, 2012. Vol. 48, No. 2. Pp. 9–14. (rus)
11. Shmelev V.M. O vozdeystvii elektricheskogo polya na poverkhnostnoye gorenje [On the effect of electric field on surface combustion]. *Chemical Physics*, 2016. Vol. 35, No. 2. Pp. 33–40. (rus)
12. Il'yushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenyuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I. On the influence of acoustic waves on combustion processes. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 1. Pp. 26–34. (rus)