

ЛИТЕРАТУРА

1. T. Kadota, H. Hiroyasu, H. Oya. Bull. JSME, 1976, 19, 130.
2. Ю. А. Гостинцев, А. Ф. Солодовник, В. В. Лазарев. Хим. физ., 1982, 9.
3. T. Niioka. Eighteenth Symp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh, 1981.
4. J. Houseman, A. Lee. J. Spasac. Rockets, 1972, 9, 12.
5. R. Knystautas, J. H. Lee, I. Moen e. a. Seventeenth Symp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh, 1978.
6. J. C. Levensgood, P. C. Wu. Fifth Symp. (Intern.) on Combustion. N. Y., 1955.
7. Ш. Ш. Максютов, Б. В. Новожилов, С. А. Цыганов. ФГВ, 1982, 18, 4.

О ВЛИЯНИИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ГОРЕНИЕ СМЕСИ ПРОПАН-БУТАН С ВОЗДУХОМ

Г. А. Гуляев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко
(Балашиха)

В настоящее время хорошо известно, что электрическое поле способно эффективно воздействовать на пламена органических веществ в воздухе [1, 2]. Накоплен обширный экспериментальный материал по влиянию полей на пламена и в общих чертах выявлены наиболее важные механизмы этого влияния. Найдено, что в ряде случаев электрические силы, действующие на пламя, могут более чем на два порядка превышать конвективные [1], играющие существенную роль в процессе распространения горения. В [3, 4] дан теоретический анализ влияния внешних электрических полей на пламена, а в работах [5, 6] приведены экспериментальные данные.

Тем не менее закономерности взаимодействия поля с пламенем выявлены не до конца. Так, например, не всегда возможно предсказать, приведет ли наложение электрического поля к интенсификации горения или к его подавлению, не определена оптимальная геометрия поля для осуществления максимального воздействия. В связи с этим представляют интерес исследования закономерностей влияния электрических полей на пламена. В настоящей работе проведено изучение взаимодействия продольного и поперечного поля аксиальной геометрии с пламенем пропан-бутана, являющегося типичным представителем органических горючих веществ. Особое внимание обращено на возможность гашения пламени.

Исследуемое ламинарное пламя формировалось на срезе однотрубной горелки с внутренним диаметром 10 мм. Горючую смесь готовили в смесителе по известным расходам пропан-бутана и воздуха. Продольное электрическое поле создавали путем подачи напряжения на кольцевой электрод диаметром 50 мм, находящийся на высоте 50—100 мм над срезом горелки (во всех экспериментах горелка была заземлена). Поперечное электрическое поле получали при подаче напряжения на цилиндрический электрод, изготовленный из металлической сетки с размером ячейки 1×1 мм, диаметром 70 и высотой 200 мм, коаксиальный с горелкой. Диаметр выбирали, исходя из двух требований: с одной стороны, он должен быть по возможности малым для получения при заданном напряжении более высокой напряженности электрического поля, а с другой, быть достаточно большим, чтобы исключить возможность пробоя при касании пламенем электрода. Размер электрода по высоте и его размещение выбирались так, чтобы нижняя кромка была ниже среза горелки приблизительно на 20—30 мм, а верхняя — выше вершины пламени не менее, чем на эту же величину.

Необходимо отметить, что аналогичную конфигурацию поперечного электрического поля использовали в работе [7], где изучали влияние поля на излучение сажистых частиц ацетиленовоздушного пламени.



Рис. 1.

Эксперименты показали, что продольное электрическое поле слабо влияет на геометрию (диаметр, высоту и форму) пламени. Гасить его удавалось лишь в случае, когда условия горения (состав и скорость потока смеси) были близки к предельным, а напряжение на электроде достаточно велико. Данный факт объясняется в работе [8], где обнаружено собственное электрическое поле углеводородного пламени

ни, перпендикулярное фронту, и показано, что наиболее эффективное воздействие реализуется при совпадении направлений внешнего и собственного электрического поля. Действительно, в случае продольного внешнего поля его напряженность перпендикулярна направлению собственного поля пламени, следовательно, его влияние, согласно [4], будет минимальным.

При наложении поперечного электрического поля и подаче на цилиндрический электрод отрицательного потенциала наблюдается существенное изменение геометрии пламени, на поверхности которого при напряжении на цилиндрическом электроде ~ 1 кВ возникают заметные мелкомасштабные газодинамические возмущения. С дальнейшим увеличением подаваемого напряжения эти возмущения растут, и непосредственно перед гашением пламя приобретает своеобразную «цветкообразную» форму с числом лепестков $\sim 4-6$ (рис. 1). В случае небольших положительных потенциалов на цилиндрическом электроде геометрия пламени практически не меняется.

Следует отметить, что изменение формы пламени в поперечном электрическом поле коаксиальной геометрии наблюдали и в работе [7], где найдено, что под действием поля пламя уширяется, а на его поверхности возникают газодинамические возмущения. Однако напряженности поля, использованные в работе [7], были недостаточны для гашения пламени.

Основная характеристика устойчивости пламени на горелке — предельная скорость подачи горючей смеси Q , при которой наблюдается срыв пламени. На рис. 2 приведены зависимости величины Q от напряжения на электроде U для различных значений коэффициента избытка α . Обращает на себя внимание тот факт, что величина Q растет с уменьшением α , что, вероятно, обусловлено участием атмосферного воздуха в горении богатых смесей. Напряжение положительной полярности приводит к стабилизации, а отрицательной — к уменьшению устойчивости пламени. Наблюдается приблизительно одинаковый наклон прямых при отрицательных напряжениях, что, по-видимому, вызвано близостью механизмов влияния поля на бедные и богатые пламена.

Исследованные явления могут быть объяснены следующим образом. Согласно [8], в зоне подготовки фронта пламени находится область локализации положительных ионов, вблизи же светящейся зоны, с внешней ее стороны, преобла-

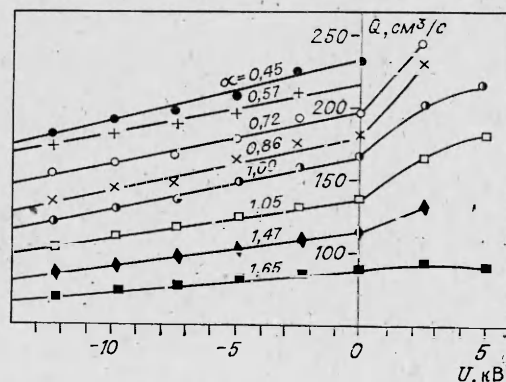


Рис. 2.

дают отрицательные ионы. При наложении отрицательного потенциала возникает направленное движение положительных ионов к внешней части пламени и отрицательных ионов к внутренней. Под действием этого происходит и движение нейтральных частиц (ионный ветер), причем результирующее направление их движения совпадает с направлением движения ионов, имеющих наименьшую подвижность [1], т. е. в данном случае положительных ионов. Ионный ветер увлекает горячие продукты реакции и активные центры в периферийную часть пламени, что охлаждает зону реакции. При достаточно больших напряжениях этот факт приводит к гашению пламени. При подаче на электрод положительного потенциала, возникающий в направлении оси ионный ветер приводит к стабилизации пламени (повышению предельных расходов смеси). В пользу того, что влияние осуществляется посредством ионного ветра, говорит и тот факт, что при подаче вместо постоянного напряжения переменного частотой 50 Гц напряжение гашения пламени возрастает.

Аналогичные результаты по воздействию на пламя поперечного электрического поля коаксиальной геометрии получены в работе [9], в которой потенциал прилагали между горелкой и коаксиальным с ней металлическим кольцом, расположенным по высоте на уровне устья горелки. Однако авторы [9] не наблюдали изменения геометрии пламени, что говорит не об ионном ветре, а об ионном механизме влияния электрического поля на пламя.

Выбранная геометрическая конфигурация электрического поля, по-видимому, близка к оптимальной с точки зрения гашения пламени, поскольку в этом случае ионный ветер воздействует приблизительно в одинаковой степени на все части пламени. В будущем представляется интересным использовать выявленные в настоящей работе закономерности для разработки способа тушения приближенных к реальным объектам турбулентных пламен, а также для изучения других возможных механизмов влияния электрических полей.

*Поступила в редакцию 17/XI 1983,
после доработки — 26/III 1984*

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Лаутон, Ф. Вейнберг. Электрические аспекты горения. М.: Энергия, 1976.
2. Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. Ионизация в пламени и электрическое поле. М.: Металлургия, 1968.
3. И. И. Кидин, В. Б. Либрович. ФГВ, 1974, 10, 5, 696.
4. И. И. Кидин, В. Б. Либрович. — В кн.: Физика горения и методы ее исследования. Вып. 6. Чебоксары, 1976.
5. Г. Д. Саламандра, И. И. Майоров. ФГВ, 1978, 14, 3, 90.
6. Г. Д. Саламандра, И. И. Майоров. ФГВ, 1982, 18, 4, 61.
7. М. Косо, К. Inuma, S. Kumagai. 18-th Symp. (Intern.) on Combustion. Pittsburgh, 1981.
8. И. Д. Щербаков. Канд. дис. Караганда, ХМИ АН КазССР, 1982.
9. А. Б. Филков, В. К. Муравлев, Б. С. Филков. ФГВ, 1981, 17, 2, 152.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ

*Г. А. Гуляев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко
(Балашиха)*

Известно, что электрическое поле может эффективно воздействовать на пламена органических веществ, горящих в воздухе, что обусловлено наличием во фронте пламени сверхравновесных концентраций заряженных частиц [1]. В работе [2] показано, что сверхравновесные концентра-