

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. И. Баренблатт, Я. Б. Зельдович, А. Г. Истратов. ПМТФ, 1962, 4.
2. T. Mitani, F. A. Williams. Comb. Flame, 1980, 39, 2, 169.
3. A. Palm-Leis, R. A. Strehlow. Comb. Flame, 1969, 13, 2, 111.
4. E. G. Groff. Comb. Flame, 1982, 48, 1.
5. R. E. Petersen, H. W. Emmons. Phys. Fluids, 1961, 4, 456.
6. Нестационарное распространение пламени/Под ред. Д. Г. Маркштейна. М.: Мир, 1968.
7. Г. Ламб. Гидродинамика. М.: ОНТИ, 1947.
8. Б. И. Давыдов. Докл. АН СССР, 1949, 89, 165.
9. Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт и др. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
10. Е. А. Кузнецов, М. Д. Спектор. ЖЭТФ, 1976, 71, 1.

Поступила в редакцию 4/XII 1985
после доработки — 10/IV 1986

ОБ ЭФФЕКТАХ СИНЕРГИЗМА ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ИНЕРТНОГО РАЗБАВИТЕЛЯ НА ГАЗОФАЗНЫЕ ПЛАМЕНА

Г. А. Гуляев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко

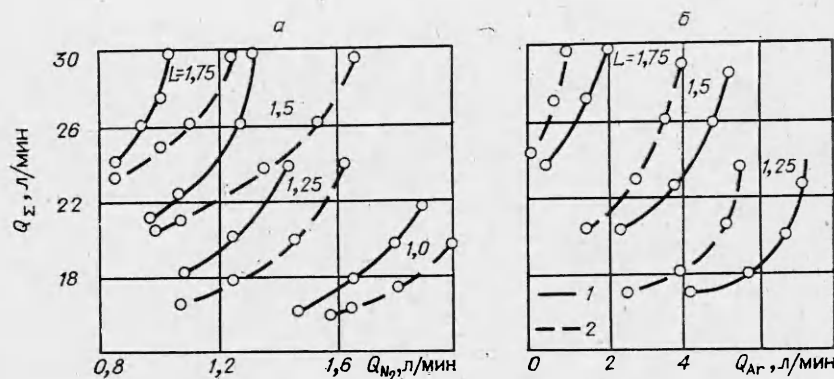
(Балашиха)

Традиционный способ тушения газофазных пламен состоит в подаче инертных и обладающих химическим действием разбавителей [1]. В [2] показана возможность тушения путем наложения на пламена электрических полей. В то же время совместное действие огнетушащего вещества и электрического поля практически не изучено, хотя такое исследование представляет как теоретический интерес в связи с необходимостью выяснения роли ионизационных явлений при горении, так и практический в связи с поиском новых, более эффективных способов тушения пламен.

В настоящей работе проведено исследование совместного действия инертных разбавителей (азот, аргон) и электрического поля на газофазные пламена предварительно перемешанных смесей пропан-бутана с воздухом. Пламя было стабилизировано на круглой горелке с внутренним диаметром 13 мм. Расход газозооудшюной смеси находился вблизи предела стабилизации пламени. Горелка была окружена цилиндрической металлической сеткой (с размером ячейки 1×1 мм) диаметром 9,5 и высотой 20 см, коаксиальной с горелкой. Нижний край сетки находился на 1,5 см ниже среза горелки. Горелка была заземлена, на сетку подавался отрицательный потенциал. Полярность потенциала выбрана исходя из того, что в опытах ставилась цель исследовать гашение пламен. Как показано в [3], это происходит лишь при отрицательной полярности потенциала. Инертный газ подавали в горелку вместе с горючей смесью, расходы компонентов смеси контролировали по ротаметрам.

Как показано в [3], при наложении электрического поля изменялась геометрия пламени, которое приобретало характерную «цветкообразную» форму и при дальнейшем увеличении абсолютной величины подаваемого потенциала гасло. Данное явление в [3] интерпретировано в рамках теории «ионного ветра». В качестве показателя стабильности пламени в настоящей работе выбрано предельное значение расхода топливозооудшюной смеси Q_z вблизи нижнего предела стабилизации. На рисунке показана зависимость Q_z от расхода инертного разбавителя (Q_{N_2} или Q_{Ar}) при различных значениях потенциала, подаваемого на сетку (0 или 10 кВ).

Как видно из рисунка, с повышением расхода инертного компонента возрастает и нижнепределный расход топливозооудшюной смеси. Од-

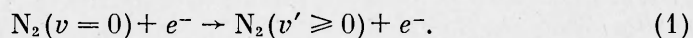


Влияние азота (а) и аргона (б) на предельные расходы топливоздушной смеси. 1 — без наложения потенциала; 2 — при наложении потенциала 10 кВ; L — коэффициент избытка окислителя в исходной смеси.

нако обращает на себя внимание разный характер влияния электрического поля на стабильность пламени в случае двух разбавителей. Для N_2 наложение электрического поля приводит к увеличению Q_Σ , т. е. к стабилизации пламени. Иная картина наблюдается для Ar , когда наложение поля усиливает огнетушащее действие инертного компонента.

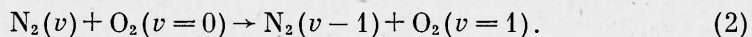
Различное влияние электрического поля на пламена, содержащие в качестве инертных компонентов N_2 и Ar , отмечено в [4], где наблюдалось увеличение скорости горения при наложении высокочастотного электрического поля на пламена, содержащие N_2 , и слабое влияние высокочастотного поля на пламена, содержащие Ar . В работе [5] дана интерпретация этого эффекта, заключающаяся в учете возможности колебательного возбуждения молекул азота при взаимодействии с электронами, ускоренными электрическим полем, с дальнейшей передачей колебательного возбуждения молекулам O_2 и ускорения химических реакций в пламени. Попробуем на основе [5] объяснить полученные в настоящей работе результаты.

Как известно [6], в диапазоне параметров $E/N \approx 10^{-16}$ В · см² (E — напряженность электрического поля; N — концентрация молекул N_2) происходит эффективное возбуждение колебательных уровней молекул в процессе

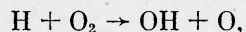


Кроме того, известно, что в пламени имеются свободные электроны, возникающие в процессе химионизации [2]. В настоящей работе значение параметра E/N близко к указанному выше, следовательно, оказалось возможным эффективное протекание процесса (1).

Колебательно-возбужденная молекула азота может передавать свое возбуждение другим компонентам смеси, в частности молекулам кислорода в процессе



Колебательное возбуждение молекул может привести к увеличению скорости реакции



играющей важную роль в химической кинетике горения органических веществ, и тем самым к увеличению скорости горения. Оценки, сделанные в [5], свидетельствуют о возможности реализации такого механизма.

В экспериментах настоящей работы при подаче в горючую смесь добавочного инертного газа и одновременном наложении электрического потенциала происходит два процесса: 1) разбавление смеси и связанное с ним уменьшение температуры и скорости горения, а также тушащее действие ионного ветра; 2) возрастание скорости горения в соответствии

с приведенным выше механизмом. Однако в случае азота подаваемый инертный компонент участвует в реализации интенсификации горения, что ослабляет его огнетушащее действие. В случае подачи аргона горение не интенсифицируется и наблюдается лишь суммарное тушащее действие электрического поля и инертного компонента.

Следует отметить эффект положительного синергизма при одновременном действии аргона и электрического поля, т. е. совместное огнетушащее действие аргона и поля превышает сумму воздействий упомянутых выше факторов по отдельности. Действительно, изменение предельного расхода горючей смеси при совместном действии аргона и поля превышает сумму изменений предельного расхода при воздействии этих факторов по отдельности. На рисунке видно, что при наложении электрического поля на пламя кривая зависимости $Q_{\Sigma}(Q_{Ar})$ становится более крутой, т. е. поле усиливает огнетушащее действие аргона. При совместном действии на пламя азота и электрического поля последнее ослабляет огнетушащее действие разбавителя, тем самым имеет место эффект отрицательного синергизма.

Совместное действие электрического поля и инертного разбавителя на диффузионное пламя пропана изучено в [6]. Расположение горелки и электрода, на который подавался потенциал, было аналогично использованному в настоящей работе. Средняя напряженность электрического поля составляла 10 кВ/см, т. е. была близка к величине, полученной в настоящей работе. Однако при добавке в пламя азота в [6] наблюдался лишь эффект положительного синергизма: электрическое поле усиливало огнетушащее действие инертного разбавителя.

Различие в экспериментальных данных, полученных в настоящей работе и в [6,] на наш взгляд, можно объяснить следующим образом. Возбуждение внутренних степеней свободы молекул, т. е. в нашем случае колебательного возбуждения, наиболее существенно для протекания химических реакций при относительно низких температурах [7]. Отсюда следует вывод, что приведенный выше механизм интенсификации горения в электрическом поле будет играть наибольшую роль в низкотемпературной зоне фронта пламени. Однако низкотемпературная зона фронта пламени, в которой имеются и горючее, и окислитель в сравнимых концентрациях, существует лишь при использовании предварительно перемешанных смесей. В случае диффузионных пламен такая зона отсутствует, поскольку структура этого пламени такова, что при низких температурах имеет место недостаток либо горючего, либо окислителя [8]. В связи с этим эффект интенсификации горения при наложении электрического поля не наблюдается.

Для полного доказательства предложенного механизма в настоящее время отсутствуют необходимые экспериментальные и теоретические данные по кинетике и газодинамике электрофизических процессов в пламенах, в связи с чем представляется целесообразным более подробное исследование обнаруженных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Баратов, Е. И. Иванов. Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1974.
2. Дж. Лаутон, Ф. Вейнберг. Электрические аспекты горения. М.: Энергия 1976.
3. Г. А. Гуляев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко. ФГВ, 1985, 21, 4, 23.
4. G. P. Tewari, J. R. Wilson. Comb. Flame, 1975, 24, 2, 159.
5. Ю. Н. Шебеко. ФГВ, 1982, 18, 4, 48.
6. Patentschrift N 1274781. Bundesrepublik Deutschland. 17 October 1966.
7. В. Н. Кондратьев, Е. Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: Наука, 1975.
8. Я. Б. Зельдович, Г. Г. Баренблатт, В. Б. Либрович и др. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.

Поступила в редакцию 18/VI 1985,
после доработки — 4/III 1986