

О ВЛИЯНИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА НОРМАЛЬНУЮ СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ВОЗДУХЕ

Ю. Н. Шебеко
(Балашиха)

О возможности влияния электрического поля на нормальную скорость горения известно (см., например, [1]), однако механизм процесса окончательно не выяснен.

Наибольший интерес представляет случай, когда энергия, вкладываемая внешним электрическим источником в газ, мала по сравнению с тепловыделением во фронте пламени, т. е. когда джоулевым теплом можно пренебречь. В этой ситуации влияние электрического поля можно рассматривать [2, 3] с точки зрения гипотезы «ионного ветра» либо гипотезы так называемого химического влияния поля на пламя, предполагающей возбуждение электронами внутренних степеней свободы реагентов. Теория «ионного ветра» не объясняет явлений, протекающих в высокочастотных полях. С другой стороны, до сих пор в достаточной степени не конкретизированы процессы, ответственные за химическое влияние электрического поля.

В настоящей работе ставится задача выявления вероятного механизма воздействия высокочастотного электрического поля на нормальную скорость горения органических соединений в воздухе.

Известно, что горение органических соединений в воздухе протекает в две стадии: окисление исходного горючего до CO и H₂O и догорание CO до CO₂ [4]. Первый процесс характерен для предпламенной зоны фронта пламени, второй — для зоны реакции. Согласно [5], именно протекание химических процессов в зоне реакции в основном определяет нормальную скорость горения. Многочисленные эксперименты, результаты которых приведены в работе [6], показали, что основными химически стабильными продуктами в зоне реакции являются молекулы CO, CO₂, H₂O, H₂. Химический механизм окисления CO в присутствии водородсодержащих добавок в настоящее время хорошо известен (см., например, [7]). Установлено, что один из важнейших процессов, определяющих скорость окисления CO в указанных выше условиях, есть реакция

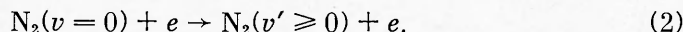


Поэтому представляется вероятным, что воздействие электрического поля на нормальную скорость горения органических соединений в воздухе во многом обусловлено изменением скорости реакции (1).

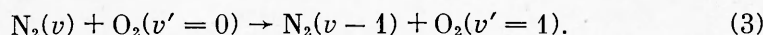
Для конкретизации возможного механизма изменения скорости реакции (1) при наложении электрического поля проанализируем результаты эксперимента [8], в котором обнаружено увеличение в два раза скорости горения метана при воздействии переменного электрического поля. Опыты проведены при атмосферном давлении, частота поля 6 МГц, напряженность электрического поля 1,67 кВ/см, расстояние между электродами 2,2 см. Исследованы смеси метана с воздухом с объемным содержанием CH₄ 5,4, 9,8 и 13%, а также смесь CH₄ + O₂ + Ar, содержащая 12,4% метана, причем соотношение между концентрациями аргона и кислорода такое же, как и между концентрациями азота и кислорода в воздухе. По оценкам [8], замена азота на аргон в исследованных смесях не привела к существенному изменению концентрации электронов в смеси.

В этом эксперименте обнаружены два характерных явления. Во-первых, опыты проводились в условиях, когда параметр E/N (E — напряженность электрического поля, N — концентрация молекул N₂) составлял $\sim 10^{-16}$ В · см². При указанных значениях E/N реализуется высокоэффективное колебательное возбуждение электронами молекул N₂ [9].

Во-вторых, замена в исходной горючей смеси азота на аргон приводит к существенному уменьшению эффекта возрастания скорости горения. По оценкам авторов работы [8], наблюдаемые явления не могут быть объяснены выделением джоулева тепла при прохождении электрического тока через газ. В связи с указанным выше представляется вероятным, что первичным актом воздействия электрического поля на скорость горения является процесс



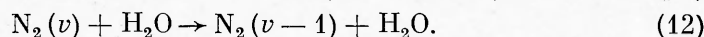
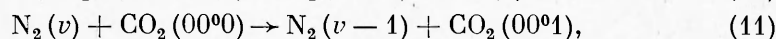
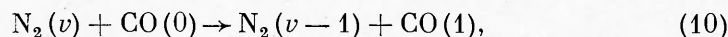
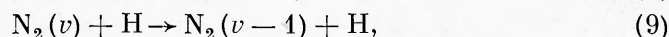
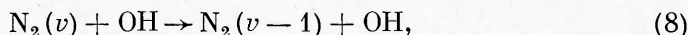
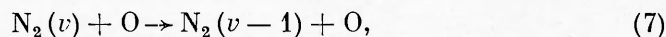
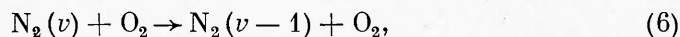
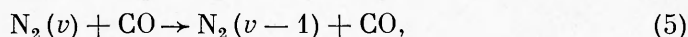
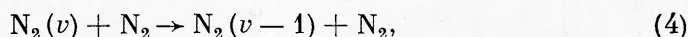
Колебательно-возбужденная молекула азота может передавать колебательные кванты другим компонентам смеси, в частности молекулам кислорода в реакции



Известно [10], что скорость многих химических реакций возрастает под влиянием колебательного возбуждения реагентов. Поэтому колебательное возбуждение молекул O_2 может привести к увеличению скорости реакции (1) и тем самым к ускорению всего процесса горения в целом.

Общая картина процессов, протекающих в зоне реакции фронта пламени, существенно более сложна, чем схема, приведенная выше. В связи с этим представляет интерес оценить роль процессов, конкурирующих с реакциями (1) и (3), в основном связанных с колебательной дезактивацией молекул N_2 и O_2 .

Основные процессы колебательной дезактивации молекул N_2 выражаются в виде



В таблице приведены константы скоростей k некоторых из приведенных реакций для $v=1$.

Укажем типичные концентрации частиц (в $1/\text{см}^3$), участвующих в процессах колебательной релаксации [6]: $[\text{N}_2] \simeq 10^{19}$, $[\text{O}_2] \simeq 10^{19}$, $[\text{CO}] \simeq 10^{18}$, $[\text{O}] \simeq 10^{17}$, $[\text{OH}] \simeq 10^{17}$, $[\text{H}] \simeq 10^{17}$, $[\text{CO}_2] \simeq 10^{18}$, $[\text{H}_2\text{O}] \simeq 10^{18}$. Характерные времена реакций (3), (4), (7), (11), (12), оцененные с помощью приведенных выше данных, составляют 10^{-4} , 10^{-3} , $3 \cdot 10^{-4}$, $3 \cdot 10^{-5}$ и $2 \cdot 10^{-6}$ с. При этом реакция (3) оказывается в значительной степени подавлена релаксационными процессами, однако можно ожидать, что около 1% вложенной в колебательные уровни азота энергии будет передано в колебательные уровни молекул кислорода.

По поводу процессов (5), (6), (8)–(10), характерные времена которых не оценивались, можно сказать следующее. Роль (5), (6), вероятно, та же, что и реакции (4), а (8), (9) — такая же, как и (7). Поскольку скорость колебательной релаксации CO мала [9], процесс (11) не приведет к существенной диссипации колебательной энергии в поступательные степени свободы. Диссоциация колебательной энергии молекулы кислорода в процессах, аналогичных реакциям (4)–(12), не рассматривалась из-за отсутствия необходимых экспериментальных данных. Однако представляется вероятным, что они не подавляют в существенной степени реакцию (1) с участием колебательно возбужденных молекул O_2 .

Номер реак-ции	T, K	k , см ³ /с	Ссылка
1	1000	$6 \cdot 10^{-14}$	[11]
3	1000	10^{-15}	[12]
4	800	$6 \cdot 10^{-17}$	[9]
7	1000	$3 \cdot 10^{-14}$	[13]
10	1700	$3 \cdot 10^{-13}$	[9]
11	1000	$3 \cdot 10^{-14}$	[9]
12	300	$6 \cdot 10^{-13}$	[14]

Таким образом, влияние переменного электрического поля на нормальную скорость горения органических соединений в воздухе может быть в принципе объяснено селективным возбуждением колебательных уровней молекул азота электронами при соответствующих значениях параметра E/N и дальнейшей передачей колебательного возбуждения молекулам кислорода. Однако для полного доказательства предложенного механизма в настоящее время отсутствуют необходимые

экспериментальные и теоретические данные.

Так, не ясно, в какой степени приводит к ускорению реакции(1) колебательное возбуждение молекулы кислорода, не известны константы скоростей многих релаксационных процессов, недостаточно хорошо исследован состав газовой смеси в зоне реакции фронта пламени. Представляется целесообразной постановка эксперимента по исследованию зависимости нормальной скорости горения органических веществ в воздухе от параметра E/N , что позволит более детально проверить справедливость выдвинутых в настоящей работе предположений.

Поступила в редакцию 13/VIII 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Э. Малиновский. Социалистическая реконструкция и наука. Вып. 7, 1934.
2. Дж. Лаутон, Ф. Вейнберг. Электрические аспекты горения. М.: Энергия, 1976.
3. Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. Ионизация в пламени и электрическое поле. М.: Металлургия, 1968.
4. А. С. Соколик. Самовоспламенение пламя и детонация в газах. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
5. Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт и др. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
6. Г. И. Кеандогуло. Химия пламени. М.: Химия, 1980.
7. Н. Н. Семенов. О некоторых проблемах кинетики и реакционной способности. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
8. G. P. Tewari, J. R. Wilson. Comb. Flame, 1975, 24, 2.
9. А. В. Елецкий, Л. А. Палкина, Б. М. Смирнов. Явления переноса в слабоионизованной плазме. М.: Атомиздат, 1975.
10. В. И. Кондратьев, Е. Е. Никитин. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: Наука, 1975.
11. В. И. Кондратьев. Константы скорости газофазных реакций. М.: Наука, 1970.
12. P. F. Zittel, C. V. Moore. J. Chem. Phys., 1973, 58, 7.
13. D. J. Eckstrom. J. Chem. Phys., 1973, 59, 6.
14. Ю. Б. Конев, И. В. Кочетов и др. Препринт ИАЭ, № 2821. М., ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1977.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕГО КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ПРЕДЕЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ГАЗОВЗЕСИ УНИТАРНОГО ТОПЛИВА

И. Х. Рахмагулина
(Москва)

Многие технологические процессы в химической, угольной, горнодобывающей и других отраслях промышленности приводят к образованию взрывоопасных смесей. Один из аспектов проблемы безопасности таких смесей — нахождение критической концентрации смеси или концентрационного предела воспламенения. Для решения этой задачи используется схема эстафетного воспламенения газовзвеси унитарного топлива. Впервые модель эстафетного воспламенения изложена в [1] для случая капли жидкого топлива в атмосфере окислителя.