

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ
ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИКАЛОВ В ПЛОСКОМ МЕТАНО-ВОЗДУШНОМ
ПЛАМЕНИ

В. А. Попов, А. В. Шеклеин

(Москва)

Спектроскопическим методом исследовалось распределение относительных интенсивностей излучения радикалов C_2 и CN в плоском метано-воздушном пламени различного состава при атмосферном и пониженных давлениях.

В данной работе представлены экспериментальные результаты исследования спектров испускания метано-воздушного пламени при различных давлениях в широком интервале концентраций. Плоский фронт пламени, получаемый на модифицированной пористой горелке типа, предложенного Сполдингом [1], проектировался светосильным объективом 1 : 1.5 50 мм с увеличением в пять раз на входную щель спектрографа ИСП-51, снабженного фотоэлектрической приставкой ФЭП-1. Величина раскрытия входной щели выбиралась из условий достаточной интенсивности сигнала с одной стороны, и резкости линий — с другой. В большинстве экспериментов она равнялась 0.1 мм; выходная щель была равна входной. При изменении ширины щели делался соответствующий пересчет.

Исследуемый участок изображения вырезался гартмановской диафрагмой, помещенной вплотную к щели спектрографа, так что регистрируемое излучение соответствовало области фронта пламени, не превышающей по высоте 0.1 мм.

В опытах использовался баллонный метан и воздух, подаваемый компрессором. Точность поддержания концентрации горючей смеси составляла приблизительно 3%.

Спектрограф позволял регистрировать область спектра от 3800 до 6400 Å. В таблице сведены обнаруженные при опытах полосы; их идентификация сделана по имеющимся литературным данным [2,3]. Количественные измерения проводились на полосе CN 4312 Å и полосе C_2 5165 Å; в некоторых случаях для сравнения приводятся данные, полученные в спектрах поглощения гидроксила OH (полоса 3064 Å) на кварцевом спектрографе КСА-1.

Опыты при пониженных давлениях отличались от указанных несколько иным диаметром горелки (80 мм вместо 25), которая помещалась в барокамеру и проектировалась на входную щель спектрографа через оптическое окно объективом 1 : 4.5 210 мм.

Для проверки стабильности аппаратуры в качестве стандартного сигнала использовался максимальный сигнал от стехиометрической метано-воздушной смеси соответствующего давления.

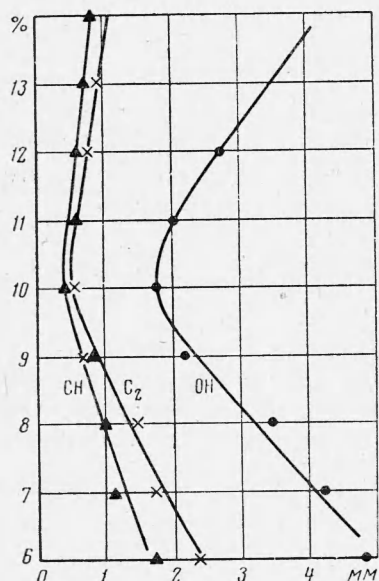
Измерения интенсивности излучения проводились на длине волны головы, выбранной для измерения полосы.

По спектрограммам определялась относительная интенсивность излучения выбранного радикала в данном участке фронта пламени, причем регистрируемый сигнал являлся суперпозицией собственного излучения радикала и излучения фона на данной частоте.

Все данные приводились к сопоставимым единицам введением поправок на изменение светосилы объектива, входной щели спектрографа и степени усиления аппаратуры в соответствии с соотношением

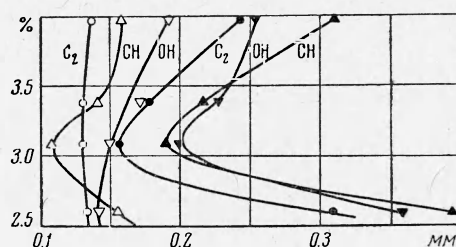
$$K = \frac{I(z) K_d}{I_{\max} (I_{\max})_{\alpha} (I_{\max}')_{\alpha} K_u}$$

Здесь z — расстояние поперек фронта пламени от среза горелки, $I(z)$ — интенсивность излучения в произвольной точке фронта пламени данного опыта, $I_{\max}$ — максимальная интенсивность излучения данного опыта, $(I_{\max})_{\alpha}$ — максимальная интенсивность спектра стехиометрического



Фиг. 1

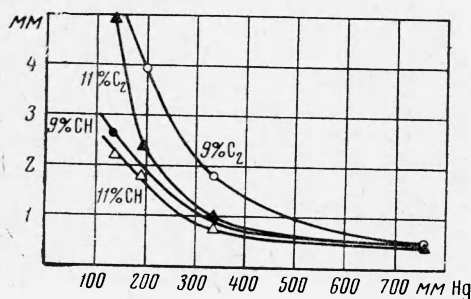
Фиг. 1. Зависимость полуширины зоны излучения радикалов CH и C_2 и зоны поглощения гидроксила OH от состава метано-воздушной смеси



Фиг. 2

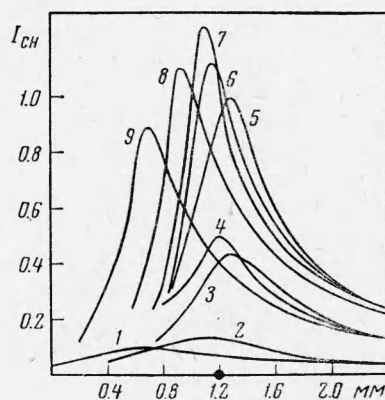
Фиг. 2. Зависимость полуширины зоны излучения радикалов CH , C_2 и OH от состава бутано-воздушной смеси по данным Кушида и Вуда

состава при данном давлении, $(I_{\max})_{\alpha}$ — максимальная интенсивность спектра стехиометрической смеси при атмосферном давлении, K_d — поправочный коэффициент на изменение диафрагмы объектива и щели спектрографа, K_u — поправочный коэффициент на степень усиления записи.



Фиг. 3

Фиг. 3. Зависимость полуширины зоны излучения радикалов CH и C_2 от давления в метано-воздушном пламени



Фиг. 4

Фиг. 4. Распределение относительной интенсивности излучения радикала CH в плоском метано-воздушном пламени при атмосферном давлении

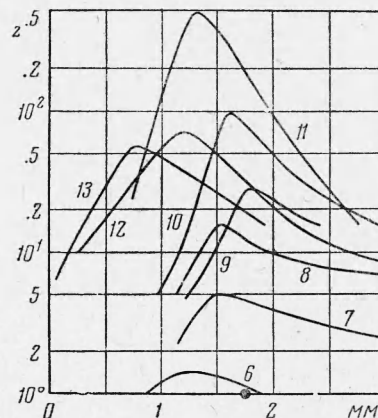
Таким образом, все данные сопоставлялись с данными стехиометрической смеси исследуемого и атмосферного давлений. Повторяемость

данных по СН составляла 10%, по C_2 — 14%. Температура пламени, полученная методом обращения линии натрия, менялась от 1350°C для бедных смесей до 1450°C для богатых.

Были построены зависимости относительной интенсивности излучения на длине волны головы полосы данного радикала от расстояния от среза горелки для пламен различной концентрации при различных давлениях (140 — 760 мм Hg). Интерпретация этих кривых весьма сложна и не только из-за влияния фона, но и потому, что изменение интенсивности излучения поперек фронта пламени вызывается рядом действующих в основной зоне реакции (фронте пламени) причин: исчезновением созданных радикалов (как возбужденных, так и невозбужденных) в ходе реакции, изменением скорости их возникновения и т. д.

Из кривых распределения излучения поперек фронта пламени были определены полуширины области излучения, т. е. величины той зоны (фактически зоны реакции данной частицы), в которой интенсивность ее излучения уменьшается от максимума до половины максимального значения. В связи с тем что излучение фона составляет небольшую долю максимального излучения самого радикала, соответствующие корреляционные поправки не являются существенными.

Абсолютные значения полуширины зоны реакций при атмосферном давлении приведены на фиг. 1, где по оси абсцисс отложена полуширина, а по оси ординат — процентный состав смеси. Для всех частиц зона наиболее узка при стехиометрическом составе, причем по нашим данным кривые для различных частиц не пересекаются. Следует отметить, что сопоставление значений интенсивности излучения C_2 и СН с приводимыми на графике значениями для ОН можно делать лишь условно, так как первые получены в излучении, а вторые — в поглощении, зона которого принципиально должна быть значительно шире. Приведенная кривая даже для одного и того же давления представляет собой нало-



Фиг. 5. Распределение относительной интенсивности излучения радикала C_2 в плоском метано-воздушном пламени при атмосферном давлении

Спектр метано-воздушного пламени

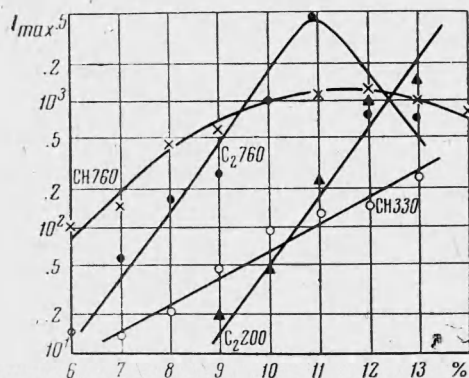
Таблица

λ , Å	Частица	Переход	I	δ	Примечание
2820	ОН	$^2\Sigma - ^2\Pi (1,0)$	6	3.5*	В поглощении на КСА-1
3064	ОН	$^2\Sigma - ^2\Pi (0,0)$	10	4.5	То же
3900—7000	CO_2 возбужденный или твердый углерод	Непрерывный фон			
3895	СН	$^2\Sigma - ^2\Pi (0,0)$	1	30	
4312	СН	$^2\Delta - ^2\Pi (0,0)$	8	60	
4685	C_2	$^3\Sigma - ^3\Pi (1,0)$	9	80	Система Свана
5165	C_2	$^3\Pi - ^3\Pi (0,0)$	10	110	То же
5565	C_2	$^3\Pi - ^3\Pi (0,1)$	8	150	
5861	СО (?)	$^2\Sigma - ^3\Pi (6,0)$	4	170	Очень слабая и нестабильная

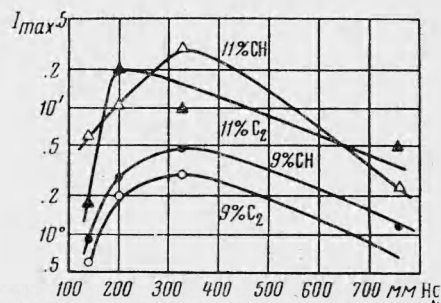
* Приведена средняя разрешающая способность спектрографа в данном участке спектра.

жение действия двух взаимосвязанных причин — состава смеси и ее температуры, причем влияние температуры может быть учтено отдельно лишь при постановке опытов с изотермическими пламенами. Степень

этого влияния, однако, весьма внушительна, как следует из пересчитанных данных Кушида и



Фиг. 6



Фиг. 7

Фиг. 6. Зависимость максимальной интенсивности излучения радикалов C_2 и CH от состава смеси при нормальном и пониженном давлениях в метано-воздушном пламени

Фиг. 7. Зависимость максимальной интенсивности излучения радикалов C_2 и CH от давления в метано-воздушном пламени

Вула [4] (фиг. 2). Значительная разница температуры в опытах Кушида, Вула и этой работы объясняет заметное отличие абсолютных значений полуширины зоны.

На фиг. 3 показана зависимость полуширины от давления, представляющая несколько типичных кривых для двух составов. Резкое возрастание этой величины с уменьшением давления очевидно и идет аналогично возрастанию толщины видимого фронта, причем последний более узок и составляет 0.7 — 0.8 спектроскопической ширины.

Так как для разных концентраций горючего в смеси высота фронта над горелкой различна, на фиг. 4 и 5 представлены кривые интенсивности излучения, при атмосферном давлении совмещенные в «середине» видимого фронта (жирная точка на оси абсцисс) соответственно для CH и C_2 .

Зависимость максимальных значений интенсивностей от концентрации топлива описывается, как правило, линией, близкой к прямой, т. е. с увеличением процентного содержания топлива интенсивность растет (фиг. 6). Это имеет место для всех давлений за исключением атмосферного, точка перегиба которого (примерно у 11-процентной смеси) наблюдалась также и в других условиях [4].

Наконец, на фиг. 7 представлены кривые зависимости максимумов интенсивности от давления для двух составов смеси 9 и 11%, причем наличие точки перегиба представляется неожиданным.

В настоящее время не предлагается каких-либо теоретических схем, которые могли бы объяснить имеющийся набор опытного материала в связи с необходимостью проведения более детальных экспериментов.

В заключение авторы благодарят Л. Н. Хитрия за интерес к работе.

Поступила 16 VII 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. Botha J. P., Spalding D. B. The laminar flame speed of propane/air mixtures with heat extraction from the flame. Proc. Roy. Soc., 1954, A 225, 71.
2. Пирс Р., Гейдон А. Отождествление молекулярных спектров. М., ИЛ, 1949.
3. Гейдон А. Спектроскопия пламени. М., ИЛ, 1959.
4. Child E. T., Wohl K., Kuschida R. Spectrophotometric studies of laminar flames. Seventh Symposium on Combustion, London, 1959, pp. 215, 221.