

*В. А. Попов, А. В. Шеклеин*  
(Москва)

**СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПЛОСКОГО МЕТАНО-ВОЗДУШНОГО ПЛАМЕНИ  
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

В продолжение работы по послойному спектроскопическому исследованию излучения радикалов  $C_2$  и  $CH$  в плоском метано-воздушном пламени [1] была предпринята попытка определить влияние постоянно-го продольного электрического поля на перераспределение излучающих частиц во фронте горения. При теоретическом рассмотрении протекания химических реакций в электрическом и магнитном полях [2—4] выявилась возможность сдвига равновесия реакций и выхода конечных продуктов, т. е. возможность изменения концентрации реагирующих частиц в зоне реакции, в частности во фронте пламени. Зависимость процесса горения от электрического или электромагнитного поля хорошо известна и неоднократно исследовалась [5—12].

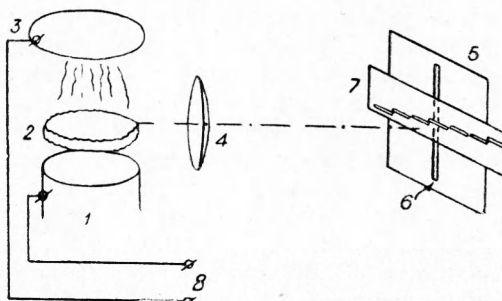
Существование ионов во фронте, значительно превышающее во многих случаях равновесные концентрации [9], может объяснить такое влияние достаточно просто.

Опубликованные работы были связаны с исследованием макроскопического влияния поля на низкотемпературную плазму пламени и недостаточно использовали спектральный метод исследования. Даже когда он применялся [13, 14], авторы ограничивались либо суммарным эффектом, либо послойной спектроскопией факелов, когда привязка измерений к определенным точкам зоны реакции затруднительна.

Применение плоского фронта горения, образующегося на пористой металлической горелке [1], позволяет удобно и однозначно сопоставить интенсивности излучения имеющихся в пламени частиц с координатами фронта и обнаружить незначительные изменения в его структуре. Измерения проводились на экспериментальной установке (см. рисунок) только при атмосферном давлении с радикалами  $C_2$  (5165 Å) и  $CH$  (4312 Å). Горелка диаметром 80 мм укреплялась на высоковольтном изоляторе (100 кВ), на высоте входной щели спектрографа. Рядом с горелкой располагался светосильный объектив, проектирующий с увеличением в 6,8 раза фронт пламени «с торца» на гартмановскую диафрагму входной щели спектрографа. Вся конструкция из горелки, объектива и изолятора укреплялась на отдельной подставке, не связанной электрически с другими приборами установки. Над горелкой размещался регулируемый по высоте стабилизатор в виде плоского металлического диска с диаметром немного больше диаметра фронта пламени.

Источник высокого напряжения — высоковольтный выпрямитель Тесла БС-222а — позволял получать и постоянное напряжение (от 0,2 до 60 кВ) любой полярности при токе нагрузки до 2 мА. Положение фронта пламени, его толщина и смещение контролировались катетометром КМ-6 с точностью до 0,01—0,02 мм. Регистрация спектров велась фотоэлектрической приставкой ФЭП-1.

Каждое измерение заключалось в записи спектральной интенсивности излучения соответствующего радикала в данной точке фронта без поля и без всяких перестроек аппаратуры при включении поля. Самые незначительные изменения сигнала при этом фиксировались однозначно и могли быть вызваны только наложением поля. Общее изменение положения фронта, вызываемое полем, определялось по отсчетам катетометра до и после его включения. При расчете параллельное смещение учитывалось совмещением определенных точек фронта (например, точек максимальной или минимальной интенсивности излучения) при наличии поля и без него. В каждом опыте кривые распределения интенсивности свечения данного радикала вдоль фронта имели единое начало отсчета. Горелка охлаждалась дистиллированной водой, протекавшей через специальную рубашку в ее корпусе.



Оптическая схема спектроскопического исследования плоского фронта метано-воздушного пламени в электрическом поле:

1 — корпус горелки — первый электрод; 2 — плоский фронт пламени; 3 — стабилизатор — второй электрод; 4 — проектирующий объектив Юпитер-3, 1 : 1,5,  $f=50$  мм; 5 — плоскость изображения фронта пламени; 6 — входная щель спектрографа ИСП-51; 7 — гартмановская диафрагма с горизонтальными щелями; 8 — клеммы подключения к высоковольтному выпрямителю Тесла.

Исследовались следующие варианты наложения поля: 1) положительное напряжение от источника на корпусе горелки (отрицательно автоматически заземлено), стабилизатор ни с чем не соединен; 2) то же, но на корпусе отрицательное напряжение; 3) положительное напряжение на стабилизаторе, горелка ни с чем не соединена; 4) то же, но на стабилизаторе отрицательное напряжение; 5) положительное напряжение на корпусе, отрицательное (земля) на стабилизаторе; 6) отрицательное напряжение на корпусе, положительное (земля) на стабилизаторе; 7) отрицательное напряжение на стабилизаторе, положительное (земля) на корпусе; 8) положительное напряжение на стабилизаторе, отрицательное (земля) на корпусе; 9) без стабилизатора положительное напряжение на корпусе; 10) без стабилизатора отрицательное напряжение на корпусе. Хотя некоторые из этих схем с электрической точки зрения равноценны, они испытывались для уверенности, что независимо от направления поля относительно потока горючей смеси действие его остается неизменным. Максимальная величина поля в каждом случае определялась пробивной стойкостью междуэлектродного пространства «стабилизатор — корпус горелки», в котором находилось пламя, либо (в одноэлектродных схемах) возможностями выпрямителя. Максимальные напряженности поля зависели от состава горючей смеси и менялись от 1 кВ/см для богатых до 5 кВ/см для бедных смесей. Кроме измерений на длинах волн, соответствующих голове полосы данного радикала, проводились также измерения фона в непосредственной близости к голове вне ее, если этот фон был достаточно интенсивен и мог влиять на излучение собственно полосы.

Неоднократное повторение опытов и их тщательный анализ показали полное отсутствие влияния внешнего электрического поля на распределение радикалов  $C_2$  и  $CH$  во фронте плоского метано-воздушного пламени.

Наблюдавшиеся в некоторых случаях макроскопические изменения фронта (сдвиг, кажущееся изменение формы) не приводили к микроскопическому изменению структуры. При изменении формы стабилизатора (диск небольшого диаметра, треугольник, прямоугольник, острие и т. п.) видимое возмущение пламени могло иметь самые причудливые формы (волнистое или ячеистое пламя, «протуберанцы»), однако в тех случаях, когда их можно было сопоставить с невозмущенным плоским фронтом, спектроскопических изменений также не обнаруживалось. Зона догорания, имеющаяся в богатых смесях, особенно чувствительна к возмущающему влиянию, и ее форма изменялась в первую очередь, в то время как исказить собственно фронт значительно сложнее. Последний более склонен целиком изменять свое положение, причем действие поля в этих случаях очень наглядно. Таким путем удавалось стабилизировать очень бедные пламена (около 6%), которые без поля немедленно срывались. Схемы с положительным потенциалом наверху действуют стабилизирующим образом, а противоположные по полярности — антистабилизирующим. Возможность стабилизации горения электрическим полем сама по себе представляет интерес, однако, как уже говорилось, этот процесс не связан с изменением микроструктуры зоны горения.

Переход на плоское кислородометановое пламя (вместо воздушно-метанового) не привел к новым результатам. Применение факельной горелки с продольным или поперечным полем приводило к хорошо известным по литературе отклонениям всего факела и его искажениям, не сопровождаемым заметными по условиям эксперимента изменениями интенсивности излучения от отдельных участков внутреннего конуса.

Таким образом, все разнообразие макроскопических изменений и возмущений в зоне горения можно объяснить, по-видимому, в полном соответствии с мнением Льюиса и Эльбе [9], исключительно газодинамическими причинами («электрический ветер»), которые определяются конкретным видом экспериментальной установки. Это справедливо по крайней мере до напряженностей  $5 \text{ кВ/см}$  однородного постоянного продольного электрического поля, выше которых наблюдается пробой междуэлектродного промежутка. Бесспорное существование макроскопического газодинамического влияния может быть использовано на практике (дополнительная стабилизация пламени, интенсификация горения), однако оно не может быть увязано с перестройкой структуры фронта горения и в частности с изменением концентрации излучающих радикалов в различных его точках.

*Поступила в редакцию  
2/XI 1964*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Попов, А. В. Шеклеин. ПМТФ, 1962, 6.
2. Б. Л. Тиман. Ж. эксперим. и теор. физ., 1954, 27, 5(11), 653.
3. Б. Л. Тиман. Докл. АН СССР, 1957, 112, 5, 894.
4. Б. Л. Тиман. Ж. физ. хим., 1957, 31, 9, 2143.
5. А. Э. Малиновский. Социалистическая реконструкция и наука, 1934, 24, 7.
6. В. П. Тимковский. Ж. эксперим. и теор. физ., 1939, 9, 1 (92).
7. А. Г. Гейдон, Х. Г. Вольфгард. Пламя, его структура, излучение и температура. М., Metallurgizdat, 1959.

8. *Е. М. Степанов*. Ионизация пламени и интенсификация процесса горения путем наложения продольного электрического поля. Канд. дисс. Моск. ин-т стали, 1962.
  9. *B. Lewis, G. von Elbe*. Combustion, Flames and Explosions of Gases. 2-nd Edition, Academic Press, ch. IX, New-York — London, 1961.
  10. *K. G. Payne, F. J. Weinberg*. Proc. Roy. Soc., 1959, A 250, 316.
  11. *H. F. Calcote*. Electrical Properties of Flames; Burner flames in Transverse Electric Fields. 3-d Symposium on Combustion. Williams and Wilkins, 1949.
  12. *T. Kinbara, J. Nakamura*. Sci. Papers College General Education, Univ. Tokyo, 1954, 4, 21.
  13. *В. С. Россихин, В. П. Тимковский*. Ж. эксперим. и теор. физ., 1940, 10, 12.
  14. *J. Nakamura*. Combustion and Flame, 1959, 3, 3, 277.
-