

или в размерном виде

$$T_{к*} \approx T_{г*} \left(1 + \frac{2}{3} \frac{u_{ад}^2}{\kappa^2} \frac{r^3}{Nu} \frac{c_{к*} \rho_{к*}}{c_{г*} \rho_{г*}} \exp(-\Theta_0 B / (1 + B)) \right)^{-1}.$$

Разница в температурах частиц и газа определяется массовой концентрацией B и инерционностью теплообмена между частицей и газом.

В типичных случаях отношения температурных характеристик разница в температурах может достигать более 100 К. Если на частицах идут эндотермические реакции, то перепад будет еще больше. Аналогично влияние излучения. Радиационная составляющая теплоотвода от частицы $\sim r^2 T_k^4$ и, поскольку T_k падает с ростом r примерно пропорционально r^2 , то теплоотдача излучением в изучаемой ситуации будет слабо меняться с изменением r . Увеличение теплообмена частицы с газом за счет ее относительного движения уменьшает зависимость разницы температур от размера частиц.

Таким образом теория дает уменьшение скорости горения с ростом массовой концентрации частиц (при фиксированном r) и рост скорости пламени с увеличением размера частиц при фиксированном значении B . Причем последнее связано с инерционностью межфазного теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Н. Баратов, Е. И. Иванов. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1979.
2. А. И. Розловский. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия, 1980.
3. А. И. Баратов, Л. П. Вогман. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982.
4. И. М. Абдурагимов. Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева, 1976, XXI, 4, 363.
5. А. И. Баратов. Там же. С. 369.
6. А. Н. Баратов. Там же. 1985, XXX, 1, 13.
7. Г. Шрайбер, П. Порет. Огнетушащие средства. М.: Стройиздат, 1975.
8. С. Н. Шорин, В. А. Балин, М. И. Вайсман и др.— В кн.: Горючесть веществ и химические средства пожаротушения. Вып. 2. ВНИИПО, 1974.
9. Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович и др. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
10. С. И. Грибкова, А. С. Предводителев. ЖТФ, 1937, VII, 18—19, 1801.
11. В. А. Балин, С. И. Шорин, О. Н. Ермолаев. Теплоэнергетика, 1969, 4, 75.
12. С. Н. Шорин, В. А. Балин.— В кн.: Вопросы теории горения. М.: Наука, 1970.
13. С. С. Кутателадзе. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979.
14. В. И. Вилюнов, И. Г. Дик, А. В. Зурер и др. ФГВ, 1984, 20, 5, 35.

Поступила в редакцию 23/VI 1986,
после доработки — 10/X 1986

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБЛАСТЬ ПОДГОТОВКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПЛАМЕНИ

В. И. Богова, Б. С. Фиалков

(Караганда)

Изучение электрофизических явлений при горении связано с необходимостью углубления представлений о его механизме, без чего невозможен поиск принципиально новых способов и средств контроля и управления процессами воспламенения и сжигания различных видов топлив. Эта задача включает в себя вопросы установления природы заряженных частиц, участия их в цепном механизме горения, влияния на него и процесс горения в целом внешних электрических полей. В [1] показано, что внешние электрические поля наиболее эффективно воздействуют на горение при их согласовании с собственным электрическим по-

лем пламени и преимущественном воздействии на область подготовки. Показана [2] известная автономия процессов в областях догорания и подготовки, различие их реакций на внешние воздействия, в том числе и на наложение электрического поля. В предшествующих исследованиях отмечено влияние поля на кинетику химических реакций, согласованное изменение в области догорания характера распределения и суммарной концентрации гидроперекисных радикалов и ряда положительных ионов [3, 4].

В задачу настоящего исследования входило установление влияния внешнего электрического поля на концентрацию и характер распределения активных центров в области подготовки, сравнение полученных результатов с данными по области догорания. Изучение радикалов в пламени пропан-бутана с воздухом осуществлялось с помощью метода ЭПР, использовалась зондовая техника и методика вымораживания [5]. Спектры ЭПР записывались на радиоспектрометре РЭ 1306. Эксперименты проводились на пламени, стабилизированном на круглой горелке при атмосферном давлении, когда влияние гетерогенных факторов сведено к минимуму. На пламя накладывались слабые продольные электрические поля напряженностью до $3,3 \cdot 10^4$ В/м, создаваемые между горелкой и электродом, введенным внутрь «голубого» конуса.

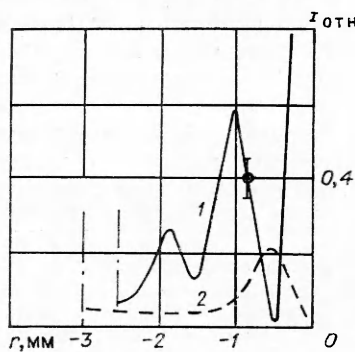
Удалось обнаружить и изучить распределение суммарной концентрации радикалов $\text{HO}_2 + \text{RO}_2$ в области подготовки на различных высотах от устья горелки для разных составов смеси. При определении относительной концентрации радикалов наблюдались ее отклонения от средних значений на 3% в глубине области подготовки и на 14% вблизи фронта. Как видно из рис. 1, на высоте 4 мм в распределении отмечается один максимум, располагающийся около фронта; на больших высотах имеется дополнительный максимум вблизи оси пламени. Появление пиков в распределении характеризуется увеличением числа радикалов HO_2 (это явствует из анализа формы спектров).

Таким образом, можно заключить, что на ранней стадии окисления возникают радикалы HO_2 и RO_2 , причем HO_2 являются, вероятно, ведущими. Здесь же первым образуется во всех случаях (при варьировании состава смеси и давления), по данным работы [6], положительный ион $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}^+$, хотя концентрация его относительно других ионов меньше.

Можно считать, что максимуму радикалов, расположенных около фронта, соответствует, по результатам [6], большая группа положительных ионов с преобладанием $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}^+$, $\text{C}_7\text{H}_9\text{O}^+$ и т. д. Как видно, возникновению фронта предшествуют два всплеска интенсивности цепных реакций с возникновением положительных ионов. Третий этап появления сверхравновесных концентраций активных центров и положительных ионов реализуется во фронте и характеризуется особенно большими градиентами на его внутренней и внешней поверхностях. Здесь рождаются ионы относительно меньших масс, в основном H_3O^+ и его комплексы $\text{H}_3\text{O}^+ \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n = 1, 2, \dots$) [6].

Образование в пламени заряженных частиц различных знаков, затем диффузионное их разделение, обусловленное разницей в подвижно-

Рис. 1. Профили относительных концентраций радикалов $\text{HO}_2 + \text{RO}_2$ по радиусу пламени r для $\alpha = 0,95$ на высоте 6 (1) и 4 мм (2) от устья горелки.
— ось пламени.



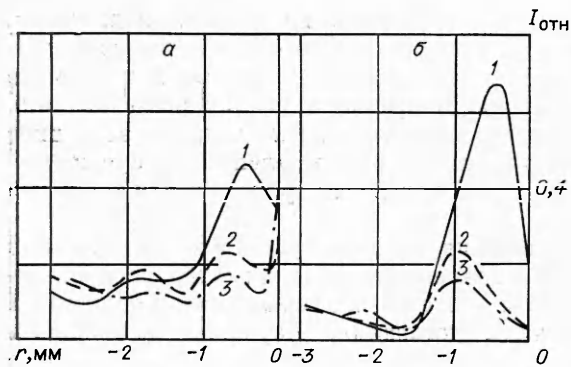


Рис. 2. Профили относительных концентраций радикалов $\text{HO}_2 + \text{RO}_2$ по радиусу пламени на высоте 6 мм от устья горелки для $\alpha = 1$ (а) и 0,7 (б).

1 — без наложения внешнего поля; 2 — внешнее поле напряженностью $1,7 \cdot 10^4$ В/м, отрицательная горелка; 3 — напряженность поля $3,3 \cdot 10^4$ В/м, отрицательная горелка.

сти, приводят к возникновению собственного неоднородного электрического поля. При этом в разных областях пламени образуются свои группы ионов. Сверхравновесные концентрации зарядов во фронте и на его поверхностях создают малое относительно других областей пламени электрическое сопротивление и соответственно экранирование от приложенного к периферии пламени внешнего электрического поля области подготовки. В работе [4] показано, что при наложении продольного постоянного электрического поля и перемещении электрода относительно структурных элементов пламени процесс в области подготовки изменяется лишь после проникновения в нее электрода. В результате настоящего исследования, кроме того, установлено смещение фронта на 0,5 мм при напряженности поля $1,7 \cdot 10^4$ В/м в направлении свежей смеси для случая «отрицательной горелки» и на 0,2 мм в сторону области догорания при «положительной горелке». Как уже говорилось, в пламени происходит разделение зарядов, в силу которого вблизи фронта возникает избыток положительных ионов. Иначе, внутренняя поверхность фронта становится положительной и при включении внешнего поля притягивается к «отрицательной горелке», уменьшая область подготовки или увеличивая ее, притягиваясь к отрицательному электроду. Учитывая это смещение, начало отсчета при отборе проб зондом привязывалось к внешней границе фронта.

Итак, до включения внешнего поля, скорость реакций образования активных центров, ионов и нейтральных молекул определяется кинетическими характеристиками пламени, а различному набору его параметров соответствует свое внутреннее поле. В результате воздействия внешнего электрического поля уменьшается суммарная концентрация радикалов HO_2 и RO_2 в области подготовки. На рис. 2, а показано, что при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ на высоте 6 мм от устья горелки особенно заметно изменение на втором пике. Подобное отмечается на других высотах и соответственно в богатых пламенах (рис. 2, б). Следует подчеркнуть, что при догорании богатых и бедных пламен электрическое поле по-разному влияет на концентрацию радикалов HO_2 [3]: в богатых — она также снижается, в бедных — увеличивается.

Из зависимости интегральной концентрации радикалов от величины приложенного поля, представленных на рис. 3, явствует, что характер влияния определяется в основном рассматриваемой областью пламени, ее составом, величиной поля и полярностью горелки. Интересно, что

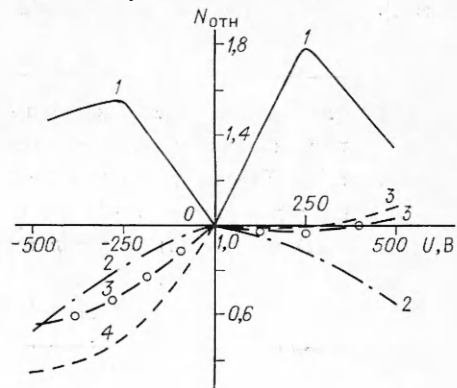


Рис. 3. Влияние электрического поля на интегральную концентрацию перекисных радикалов. α равно в области догорания 1,0 (1) и 0,7 (2), в области подготовки 0,7 (3) и 1,0 (4).

для области подготовки наложение полей вызывает уменьшение интенсивности сигнала ЭПР от радикалов HO_2 и RO_2 за счет уменьшения вклада формы от радикалов HO_2 . Как объяснить обнаруженный эффект воздействия электрического поля на активные центры? Предполагается существование по крайней мере двух механизмов влияния внешнего электрического поля на пламя, конкурирующих между собой. Один из них связан со сдвигом во внешнем поле скоростей реакций образования и расходования радикалов HO_2 и RO_2 , представляющих собой дипольные частицы. Как показано в [7], величина сдвига будет зависеть от напряженности внешнего поля и температуры газа. Другой механизм может проявляться в изменении поступательной энергии заряженных частиц (ионов и электронов), а значит — в изменении скорости ион-молекулярных реакций с участием активных центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Б. Фиалков, В. К. Муравлев, Б. С. Фиалков. ФГВ, 1981, 17, 2, 152.
2. Б. С. Фиалков, И. Д. Щербаков, В. И. Ботова и др. — В кн.: Исследование процессов неустойчивого горения. Чебоксары, 1984.
3. В. И. Ботова, Б. С. Фиалков. ЖФХ, 1983, 57, 7, 1800.
4. Б. С. Фиалков И. Д. Щербаков, В. И. Ботова и др. Кипетика и катализ, 1984, 25, 5, 1249.
5. В. И. Ботова, Б. С. Фиалков. ЖФХ, 1982, 56, 7, 1791.
6. А. Б. Фиалков, Б. С. Фиалков. ФГВ, 1985, 21, 3, 32.
7. Б. Л. Тиман. ЖФХ, 31, 9, 1243.

*Поступила в редакцию 30/IV 1986,
после доработки — 22/IX 1986*

АВТОРЕГРЕССИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕКРЕМЕНТА И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГАЗА В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

*В. А. Кармалита, В. И. Фурлетов
(Москва)*

Оценки логарифмического декремента находят применение при контроле и диагностике устойчивости процесса горения в камерах с мягким самовозбуждением колебаний газа, при установлении влияния на устойчивость процесса горения в камере ее конструктивных и режимных параметров. Величину декремента можно определить внесением в камеру сгорания искусственных возмущений давления газа или по малым случайным колебаниям давления («естественным шумам»), сопровождающим работу камеры в нормальных условиях.

Среди статистических методов определения декремента по шумам наибольшее применение получили спектральный и корреляционный [1, 2]. Однако их реализация на ЭВМ предъявляет повышенные требования к характеристикам средств обработки сигналов, например с датчиков колебаний давления. Предлагаемый в статье подход к определению декремента опирается на теорию линейных параметрических моделей временных рядов [3, 4]. Использование линейной модели существенно упростило процедуру оценивания декремента и одновременно частоты колебаний, позволило получить аналитическую оценку их погрешности и указать правила достижения требуемой точности. Одной из основных трудностей на пути применения указанной модели к задаче определения декремента «линейных узкополосных шумов» [5] было установление связи между параметрами физической и стохастической моделей колебаний газа в камере сгорания.