

ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАМЕН

С. Ф. Евланов

(Москва)

Известно, что свободная (или естественная) конвекция оказывает значительное влияние на скорость распространения пламени в горючих газовых смесях и на концентрационные пределы воспламенения [1—3]. Из физических соображений можно предположить, что свободная конвекция должна существенно влиять и на многие другие явления, в частности на срыв и потухание стационарных (т. е. неподвижных относительно наблюдателя) пламен газов. Однако исследований в этом направлении не проводилось.

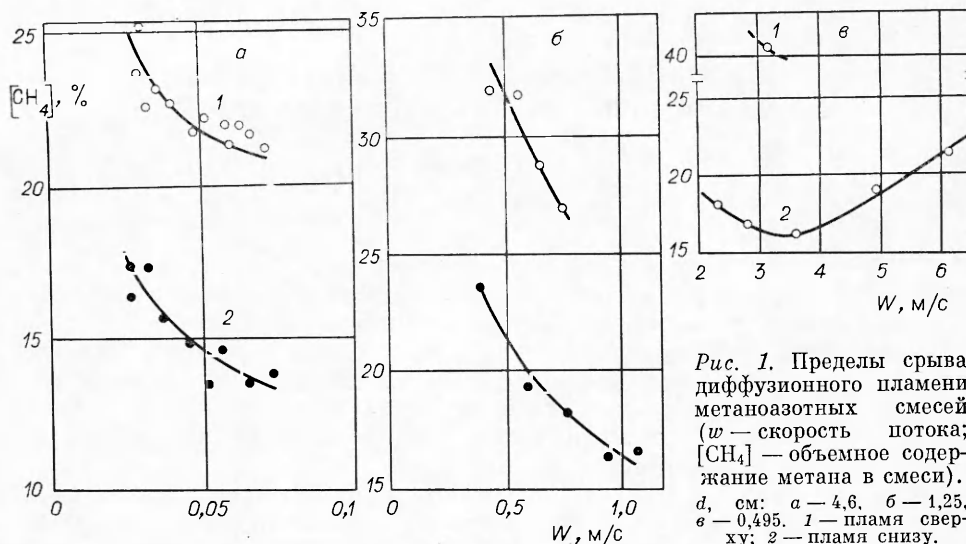
Цель настоящей работы — изучение влияния свободной конвекции на срыв и потухание стационарных диффузионных пламен и пламен в предварительно перемешанных горючих смесях. Для получения пламен использовались смеси метана и азота, подаваемых из смесителя в горелки в виде трубок из кварца внутренним диаметром $d = 0,495 \div 5,6$ см и длиной до 50 см. Расходы компонентов смеси, измеряемые ротаметрами и реометрами, в течение одного опыта поддерживались постоянными. Средняя скорость истечения газовой смеси рассчитывалась по расходам компонентов и сечению устья горелки.

Методика эксперимента заключалась в следующем. Задавая расход метана, постепенно увеличивали подачу азота в смеситель. При некотором определенном содержании азота в смеси происходил срыв пламени, т. е. его удаление от устья горелки и погасание. Влияние свободной конвекции изучали путем сравнения результатов измерений при двух положениях горелки, в одном из которых газовая смесь вытекала вверх, а в другом — вниз. Соответственно пламя располагалось либо над устьем горелки, либо под ним. В последнем случае с целью предотвращения разогрева поднимающимися вверх продуктами сгорания горелка надежно теплоизолировалась снаружи толстым (2—3 см) слоем шнурового асбеста. Эксперименты показали, что срыв пламени происходит при определенных, взаимосвязанных между собой скорости истечения газовой смеси и ее составе.

На рис. 1, *a* изображены кривые срыва диффузионного пламени для горелки с внутренним диаметром 4,6 см. В этой горелке в целях равномерного распределения скорости потока смеси по сечению на расстоянии 10 мм от краев устья впаяна кварцевая пористая проницаемая мембрана (размер пор 0,05 мм). Области устойчивого горения лежат выше указанных на рис. 1, *a* кривых. Обращает на себя внимание значительный разрыв между расположением кривых устойчивости, что может быть вызвано только влиянием свободной конвекции нагретых в пламени газов. Аналогичные результаты получены и для других скоростей истечения смеси (рис. 1, *b*, *в*).

При повышенных скоростях истечения смеси кривая срыва пламени может иметь минимум (см. рис. 1, *в*). Характер кривых на рис. 1, *a* — *в* позволяет предположить, что срыв пламени левее минимума вызван недостаточным количеством поступающего в пламя метана. Характер же части кривой рис. 1, *в* правее минимума показывает, что срыв пламени в этом случае вызван гидродинамическими факторами, связанными с повышенной скоростью потока смеси.

Во всех опытах имеет место значительное положительное влияние свободной конвекции на пределы срыва пламени, а именно — смещение области срыва в сторону бедных горючим газом смесей. Очевидно, что на пламя, в котором газ по отношению к окружающей атмосфере имеет меньшую плотность (в 6—8 раз), должны действовать архимедовы силы,



направленные вверх. Эти силы при расположении пламени сверху устья горелки действуют в направлении срыва пламени, т. е. должны способствовать срыву. Когда же пламя расположено под устьем горелки, архимедовы силы действуют в направлении, противоположном срыву пламени.

Следует отметить, что найденный эффект усиления стабилизации диффузионного пламени при его обращении вниз далеко не тривиален. Как показали эксперименты, в горелках достаточно больших диаметров и длины при малых скоростях истечения смеси развитие свободной конвекции может привести и к обратному эффекту.

Ряд экспериментов проведен с горелкой внутренним диаметром 5,6 и длиной 20 см при подаче метаноазотной смеси через впаянную в дно пористую мембрану. При постоянных расходах метана 1,5 л/мин и азота 3,5—6,4 л/мин (скорость потока 3,4—5,4 см/с) диффузионное пламя устойчиво только на обращенной вверх горелке. При положении горелки устьем вниз пламя хотя и возникало после зажигания, но, втягиваясь конвективными потоками вверх в устье горелки, немедленно гасло. Механизм гашения в данном случае связан, очевидно, с тем, что поднимающиеся вверх продукты горения разбавляют метаноазотную смесь и экранируют поступление кислорода воздуха в пламя.

Таким образом, свободная конвекция может как увеличивать, так и понижать устойчивость диффузионного пламени.

Ряд опытов проведен со смесями метан — воздух ($d = 0,85$ см). Методика проведения этих опытов аналогична описанной выше. Обе кривые на рис. 2 отличаются всего на $\sim 1\%$ об. по метану, однако если учесть, что адиабатическая температура горения для обеих кривых различна более чем на $150\text{—}200^\circ\text{C}$, влияние свободной конвекции и в этом случае нельзя считать малым.

Можно сделать вывод, что свободная конвекция оказывает значительное (как положительное, так и обратное ему) влияние на устойчивость стационарного пламени к срыву при горении газовых систем.

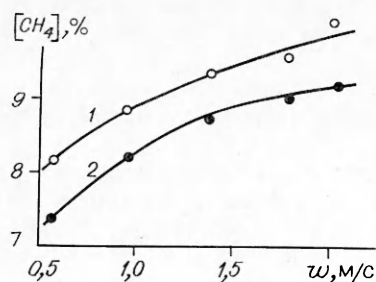


Рис. 2. Пределы срыва бунзеновского конуса пламени метановоздушных смесей (обозначения аналогичны рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б. и др. Математическая теория горения и взрыва.— М.: Наука, 1980.
2. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах.— М.: Мир, 1968.
3. Кривулин В. Н., Ловачев Л. А., Баратов А. Н. и др. // Матер. Третьего Всесоюз. симп. по горению и взрыву, 5—10 июня 1971 г.— М.: Наука, 1972.

Поступила в редакцию 4/XII 1987

УДК 536.461; 537.566

РИДБЕРГОВСКИЕ МОЛЕКУЛЫ В ПЛАЗМЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПЛАМЕНИ

Л. И. Баргашевская, А. С. Зайцев, В. И. Твердохлебов
(Днепропетровск)

Высоковозбужденные атомы, чаще называемые ридберговскими атомами, образуются в процессе электронно-ионной рекомбинации. Такие атомы и молекулы можно также получать возбуждением пучками частиц достаточной энергии или воздействием резонансным электромагнитным излучением. Эффективен метод получения ридберговских состояний возбуждением лазерным излучением.

В настоящей работе впервые обнаружено образование ридберговских молекул в химических реакциях ацетиленокислородного пламени низкого давления. Исследовалось пламя на встречных струях при давлении $p = 0,4$ кПа. Горелки (трубы, на которые насажены матрицы) устанавливались соосно на расстоянии 120 мм. Оси горелок имели вертикальное направление. Смесь горела устойчиво в случае подачи ацетилена через нижнюю горелку, а кислорода — через верхнюю. Светящаяся область пламени, обычно отождествляемая с реакционной зоной, имеет форму диска толщиной 40 мм. Она устанавливалась на расстоянии 15 мм от среза нижней горелки. Применялись очищенный ацетилен и кислород из стандартных баллонов.

Электрические свойства плазмы ацетиленокислородного пламени изучались на основе экспериментальных данных о функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ). Описание метода и экспериментальной установки, на которой измерялась вторая производная зондового тока по напряжению, дано в [1, 2]. На пламя накладывалось электрическое поле от источника постоянного тока с регулируемым напряжением, максимальная величина которого составляла 120 В. Напряжение прикладывалось к матрицам горелок, которые были электрически изолированы.

В работах [3—5] описано увеличение концентрации свободных электронов под действием электрического поля и в результате присадок аргона, азота, неона. Чтобы понять природу этих явлений, проведены дальнейшие исследования в предположении, что в химических реакциях, протекающих в плазме пламени, образуются ридберговские молекулы. Наиболее эффективным методом регистрации ридберговских молекул считается измерение возникающего электрического тока или концентрации образующихся носителей электрического тока при наложении на исследуемый объект электрического поля.

Изучена зависимость концентрации свободных электронов от величины разрядного тока в реакционной зоне, а также в ацетиленовой и кислородной зонах. К ацетиленовой зоне относится область, простирающаяся от среза ацетиленовой горелки до реакционной зоны, а к кислородной — область, расположенная между срезом кислородной горелки и реакционной зоной. Если в ацетиленовой и кислородной зонах с наложением электрического поля концентрация свободных электронов замет-