

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

О ВЛИЯНИИ ПОПЕРЕЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ
И ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Г. Д. Саламандра, И. К. Федосеева
(Москва)

За многие годы исследования влияния электрического поля на сгорание различных газообразных смесей накоплен большой экспериментальный материал, характеризующий особенности протекания процесса сгорания почти всех гомогенных смесей в электрическом поле. Исключение составляли водородно-воздушные и водородно-кислородные смеси. Попытка обнаружить влияние электрического поля на сгорание водородно-воздушных смесей окончилась неудачей [1]. Не было зарегистрировано и изменение скорости распространения пламени в смеси городского газа, содержащего 55% H_2 , с воздухом [2]. Создавалось впечатление, что смеси, содержащие в качестве топлива водород, представляют особую группу, на развитие процесса сгорания в которой электрическое поле не влияет. Это казалось тем более естественным, что концентрация заряженных частиц в водородных пламенах (10^5 ион/см³) на несколько порядков ниже соответствующей величины в пламенах углеводородных смесей (10^{10} — 10^{12} ион/см³) [3].

Использование для визуализации неактивных водородных пламен метода Теплера в сочетании со скоростной съемкой развития процесса сгорания во времени позволило показать, что процесс сгорания как сухих, так и влажных водородных смесей в поперечном электрическом поле качественно ничем не отличается от сгорания в поле других смесей, в том числе и углеводородных [4].

Опыты проводились в трубе квадратного сечения 36×36 мм², изготовленной из стеклопластика АГ-4С. Поперечное электрическое поле создавалось между двумя латунными пластинами размером 450×45 мм², смонтированными в тело трубы на расстоянии 60 мм друг от друга. На одну из пластин подавалось высокое напряжение отрицательной полярности, вторая пластина заземлялась. Напряженность электрического поля E в опытах с водородно-кислородной смесью, содержащей 16,7% H_2 , изменялась от 1,5 до 7,5 кВ/см, а в опытах с водородно-воздушными смесями, содержащими 10; 20; 25 и 30% H_2 , $E = 7,5$ кВ/см.

Водород и воздух брались из баллонов. Смесь составлялась и хранилась в газометре. Для сушки горючей смеси использовался ангидрон. Поджигание у открытого конца трубы давало наиболее простой режим сгорания, при котором пламя распространялось с практически постоянной скоростью на большей части трубы. Незменность формы фронта пламени и его структуры при таком режиме горения облегчала оценку изменения формы фронта пламени под влиянием электрического поля.

Рис. 1 иллюстрирует влияние поля на распространение пламени в водородно-воздушной смеси, содержащей 25% H_2 . Хорошо видно, что фронт пламени, имеющий в отсутствие поля характерную менискообразную форму (рис. 1, а), в поперечном электрическом поле деформируется: при наложении высокого напряжения на верхнюю пластину он сильно растягивается (рис. 1, б), при изменении направления поля и превышении некоторого порогового значения его напряженности передняя точка фронта пламени перемещается к нижней пластине (рис. 1, в). Аналогичные результаты были получены и при сжигании в электрическом поле других водородно-воздушных смесей. Под влиянием электрического поля поверхность пламени возрастает, скорость его распространения увеличивается.

На рис. 2 представлено изменение скорости равномерного распространения пламени в зависимости от процентного содержания топлива в водородно-воздушной смеси. В отсутствие электрического поля скорости распространения пламени в сухих (светлые точки) и влажных (темные точки) смесях мало отличаются друг от друга (рис. 2, 1). В электрическом поле различие в скоростях становится хорошо заметным. При сжигании сухих смесей в поле скорость распространения пламени возрастает примерно в два раза

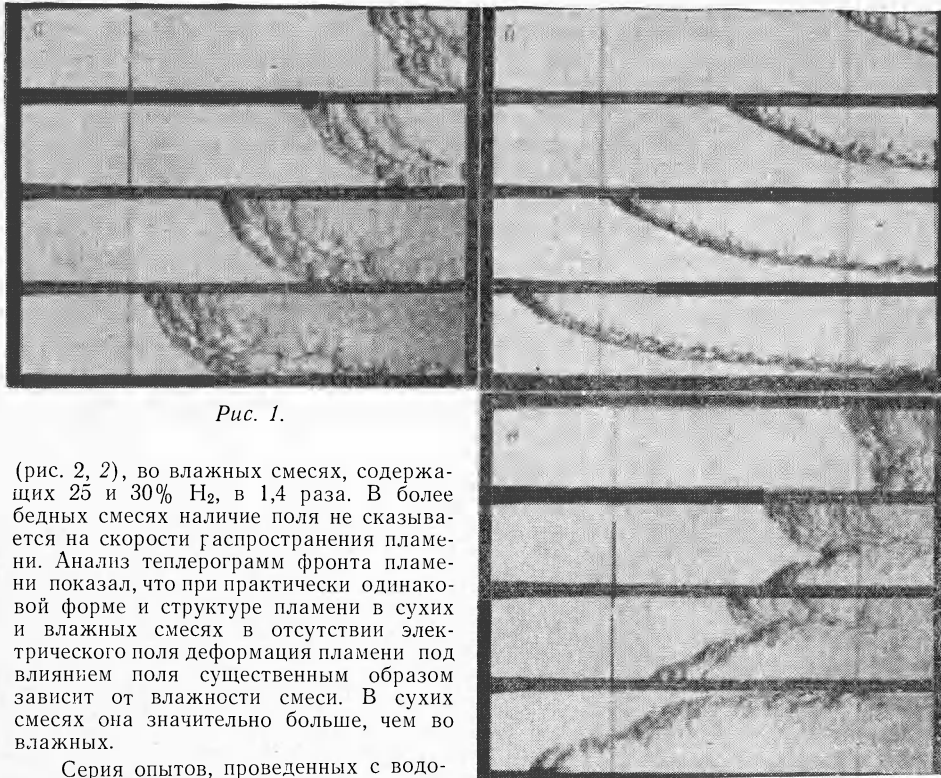


Рис. 1.

(рис. 2, 2), во влажных смесях, содержащих 25 и 30% H_2 , в 1,4 раза. В более бедных смесях наличие поля не сказывается на скорости распространения пламени. Анализ теплорограмм фронта пламени показал, что при практически одинаковой форме и структуре пламени в сухих и влажных смесях в отсутствие электрического поля деформация пламени под влиянием поля существенным образом зависит от влажности смеси. В сухих смесях она значительно больше, чем во влажных.

Серия опытов, проведенных с водородно-кислородной смесью, содержащей 16,7% H_2 , качественно дала те же результаты: было зарегистрировано растяжение фронта пламени в поперечном электрическом поле и перемещение его передней точки к пластине, находящейся под напряжением. Как и в водородно-воздушных смесях, при наложении электрического поля скорость распространения пламени увеличивается (рис. 3).

Приведенные выше экспериментальные данные можно объяснить, полагая, что деформация фронта пламени в электрическом поле обусловлена действием так называемого ионного ветра. Известно, что своеобразная форма фронта пламени, распространяющегося с постоянной скоростью вблизи открытого конца горизонтальной трубы (передняя точка пламени выдвинута вперед в направлении его движения), обусловлена наличием циркуляционного движения вокруг фронта пламени, вызванного действием силы тяжести [5]. При наложении электрического поля появляется дополнительная сила, действующая аналогично силе тяжести. В зависимости от направления электрического поля под действием этой силы циркуляционное движение вокруг фронта пламени либо усиливается, вызывая дополнительное растяжение фронта пламени (см. рис. 1, б),

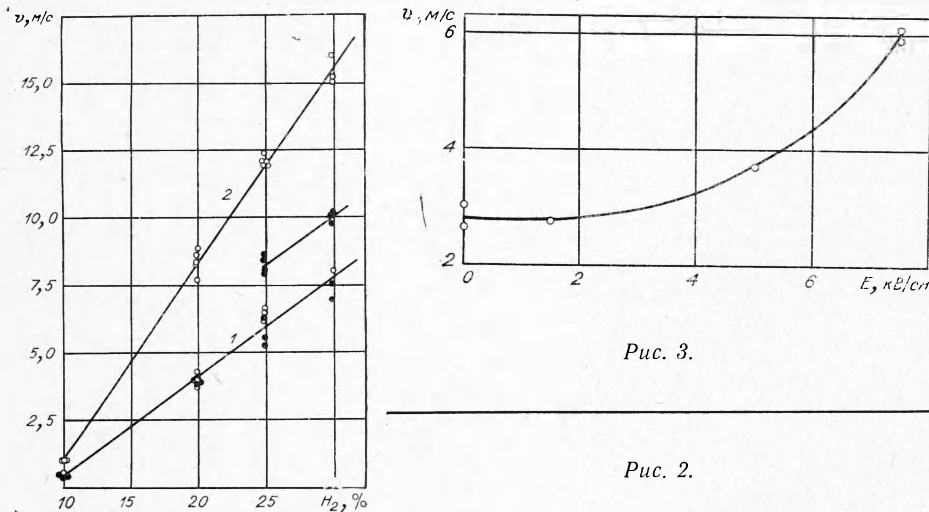


Рис. 3.

Рис. 2.

либо при превышении некоторого порогового значения напряженности электрического поля меняет направление, обуславливая перемещение передней точки фронта пламени к нижней пластине (см. рис. 1, в). Более сильное влияние поля на фронт пламени, расширяющийся в сухой смеси, вероятно, вызвано большей силой, действующей на единицу объема. Действительно величина электрической силы равна $eE(n_+ - n_-)$, где e — заряд электрона, E — напряженность поля, n — концентрация заряженных частиц.

В том случае, когда отрицательно заряжена верхняя пластина, по продуктам реакции движутся положительно заряженные ионы, концентрация которых одинакова в сухих и влажных смесях. Число же отрицательных ионов, образующихся за счет прилипания к нейтральным молекулам электронов при их движении по холодному газу в сухих смесях меньше, так как в них отрицательные ионы могут возникать только за счет прилипания электронов к молекулам кислорода, тогда как во влажных смесях электроны могут прилипать еще и к молекулам воды.

Неясным, однако, остается вопрос, как небольшое количество заряженных частиц может вызвать достаточно большие электрические силы, заметно деформирующие фронт пламени и значительно увеличивающие скорость его распространения.

Поступила в редакцию
30/VII 1973

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Э. Малиновский, Ф. А. Лавров. ЖФХ, 1931, II, 3—4, 530.
2. H. C. Jaggars and A. von Engel. Combustion and Flame, 1971, 16, 3, 275.
3. Мукерджи, Фуэно, Эйринг и Ри. Вопросы ракетной техники, 1963, 5, 34.
4. Г. Д. Саламандра. ФГВ, 1969, 5, 2, 189.
5. Г. А. Барский и Я. Б. Зельдович. ЖФХ, 1950, 24, 5, 589.

УДК 536.46

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛАМЕНИ

Л. Г. Родыгина
(Красноярск)

В работе излагаются результаты исследования химических превращений в диффузионных пламенах различных органических соединений, используемых в качестве компонентов в некоторых смесевых топливах. Эксперименты проводились на установках и по методике, описанных ранее [1, 2]. В табл. 1 приведены данные по составу газа пиролиза и температуре на высоте 15 мм по центру пламени, а также дано отношение Н/С в исходных продуктах и в газе пиролиза для уротропина и его смесей с ароматическими полициклическими углеводородами. На рисунке представлено изменение атомного отношения Н/С в исходных смесях и продуктах пиролиза в зависимости от высоты пламени.

Таблица 1

Исходные вещества	Содержание компонентов газа, об. %								Н/С		t, °C
	N ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	CO	CO ₂	в исходных продуктах	в газе пиролиза	
Уротропин	61,6	11,2	1,3	0,1	4,9	4,4	6,0	8,5	2,0	2,9	1120
50% уротропина + +50% антрацена	84,7	1,7	—	—	0,3	0,6	3,8	8,9	1,357	3,5	1040
50% уротропина + + 50% флуорена	85,0	1,2	—	—	0,3	0,5	3,2	9,8	1,385	3,0	1040
50% уротропина + + 50% толана	79,0	3,4	0,2	—	0,6	1,8	4,0	11,0	1,357	2,8	1170
50% уротропина + + 50% стильбена	76,8	2,3	1,2	—	1,9	1,2	2,4	12,2	1,43	2,7	850