

А. Ф. Пантелеев, Г. А. Попков, Ю. Н. Шебеко, С. Г. Цариченко

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРЕДЕЛЬНЫЙ РАСХОД СРЫВА ДИФфуЗИОННОГО ПЛАМЕНИ ПРОПАНОВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

Экспериментально исследовано влияние электрического поля на предельные расходы срыва диффузионного пламени пропан + водород в воздухе на горелках диаметром 1,5 и 4 мм. Электрическое поле создавалось путем подачи переменного потенциала на цилиндрический электрод, коаксиальный с горелкой. Выявлено, что существует зависящая от скорости истечения горючей смеси критическая концентрация пропана, ниже которой пламя не гасится вплоть до напряжения 40 кВ.

Концентрации ионов, обнаруженных во фронте пламени углеводородовоздушных смесей, находятся в пределах 10^9 — 10^{12} см⁻³ [1]. Однако не всегда концентрации заряженных частиц столь велики (например, при горении водорода, оксида углерода, сероводорода и некоторых других веществ). Полагают [1], что ионы в этих пламенах обусловлены в основном наличием примесей. В то же время эксперименты, выполненные в работе [2], показывают, что концентрация ионов в водородовоздушном пламени по крайней мере на 2 порядка превышает равновесную. Исходя из этого, следует ожидать, что электрическое поле будет достаточно эффективно воздействовать не только на пламя углеводородов, но и водорода.

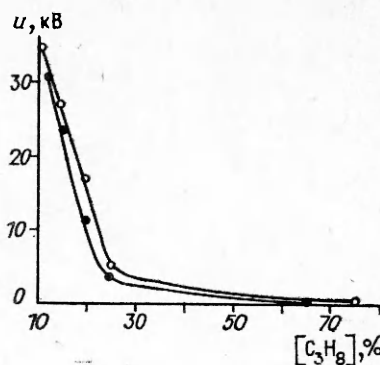
Имеющаяся по этому вопросу информация отрывочна и противоречива. Так, в [1] цитируется работа А. Э. Малиновского и Н. Лаврова, в которой не обнаружено ярко выраженного эффекта влияния электрического поля на скорость распространения водородовоздушного пламени. В [2] описаны опыты А. С. Соколика и Б. С. Скалова по воздействию электрического поля на скорость распространения пламени оксида углерода с воздухом, в которых обнаружено заметное изменение этой скорости при наложении поля. Учитывая, что кинетические свойства пламен водорода и оксида углерода во многом близки, априори можно ожидать аналогичного влияния и на водородное пламя. В настоящей работе экспериментально исследуется влияние электрического поля на диффузионные пламена водорода (ожидаемое слабое воздействие), пропана (ожидаемое сильное воздействие) и их смесей различного состава.

Диффузионное пламя пропановодородной смеси стабилизировали на заземленной круглой металлической горелке диаметром 1,5 (основная серия опытов) и 4 мм (предварительная серия). Расходы пропана и водорода контролировали по ротаметрам. Электрическое поле создавали путем подачи переменного потенциала с частотой 50 Гц на цилиндрическую металлическую сетку диаметром 10 см с размером ячейки 1×1 мм, коаксиальную с горелкой. Наличие или отсутствие пламени для смесей с пропаном определяли визуально, а в случае слабосветящегося водородного пламени — с помощью термопары. Истекающую газовую смесь поджигали открытым пламенем. Затем на цилиндрическую сетку подавали переменный электрический потенциал, величину которого увеличивали до срыва. Относительная погрешность определения расходов газовых компонентов не превышала 10 %, а погрешность измерения величины электрического потенциала составляла ± 1 кВ.

В предварительной серии опытов найдено, что для смеси $C_3H_8 + H_2$ любого состава в отсутствие электрического поля срыва пламени не происходило вплоть до расхода топлива $Q = 4$ дм³/мин. При этом пропановое пламя гасло при достаточно большой величине электрического потенциала ($U = 12 \div 15$ кВ). Гашения пропановодородного пламени в случае $U \leq 40$ кВ и $Q \approx 4$ дм³/мин удавалось достичь лишь для смесей с объем-

ным содержанием C_3H_8 не ниже 50 %. Вследствие этого основная серия опытов выполнена на горелке диаметром 1,5 мм, гасить пламя на которой удавалось для заданных расходов газа при более низких потенциалах.

Типичные результаты экспериментов представлены на рисунке, где показана зависимость напряжения срыва пламени U_* от объемного содержания пропана в смеси $C_3H_8 + H_2$ при $Q = 3$ (светлые точки) и $4 \text{ дм}^3/\text{мин}$ (темные). Наблюдается резкое падение величины U_* с увеличением концентрации пропана в горючей смеси от 10 до $\sim 25\%$. С дальнейшим ростом $[C_3H_8]$ значение U_* уменьшается относительно слабо вплоть до нулевого, при котором наблюдается чисто газодинамический срыв горения. Зависимости величины U_* от $[C_3H_8]$, полученные при различных Q , достаточно близки друг к другу. В пределах ошибки эксперимента критическое значение концентрации пропана, ниже которого срыв пламени не наблюдается, составляет $\sim 10\%$ (по крайней мере, до $U = 40 \text{ кВ}$). Для горелки с диаметром 4 мм при тех же Q и U критическая концентрация пропана, как отмечено выше, составляет 50 %.



Указанные различия обусловлены довольно низкой средней скоростью истечения горючей смеси в случае горелки диаметром 4 мм и вследствие этого большей стабильностью пламени, для нарушения которой (в случае срыва пламени) требуется большего воздействия электрических сил, которого можно добиться при более высоких степенях ионизации пламени (концентрация пропана в горючей смеси должна быть выше).

Отметим, что при наложении электрического поля пропановодородное пламя деформировалось, в результате пламя приобретало характерную цветкообразную форму (как и в случае пламени предварительно перемешанной пропановоздушной смеси [3]). Этот факт позволяет предположить наличие влияния поля на пламя в исследованной геометрической конфигурации по механизму ионного ветра [1, 2], хотя полностью нельзя отбрасывать и возможность воздействия поля на кинетику химических реакций (например, по механизмам, предложенным в работах [4, 5]).

Таким образом, в настоящей работе проведено экспериментальное исследование воздействия переменного электрического поля на пределы стабилизации диффузионного пропановодородного пламени. Показано отсутствие влияния поля на предельный расход срыва водородного пламени без добавок пропана в исследованном диапазоне напряжений. Выявлено, что в зависимости от скорости истечения горючей смеси существует предельная концентрация пропана, ниже которой пропановодородное пламя не гасится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Д., Вейнберг Ф. Электрические аспекты горения.— М.: Энергия, 1976.
2. Степанов Е. М., Дьячков Б. Г. Ионизация в пламени и электрическое поле.— М.: Металлургия, 1968.— 311 с.
3. Гуляев Г. А., Попков Г. А., Шебеко Ю. Н. О влиянии постоянного электрического поля на горение смеси пропан — бутан с воздухом // ФГВ.— 1985.— 21, № 4.— С. 24—25.
4. Фиалков А. Б., Фиалков Б. С. Ионный состав пламени пропан — бутан — воздух при пониженном давлении // Там же.— № 3.— С. 32—42.
5. Шебеко Ю. И. Влияние переменного электрического поля на нормальную скорость горения органических веществ в воздухе // Там же.— 1982.— 18, № 4.— С. 48—50.

г. Балашиха

Поступила в редакцию 10/IV 1992,
после доработки — 26/VI 1992