

27. А. Б. Фиалков.— В кн.: Тез. докл. VII Всесоюз. семинара по электрофизике горения. Караганда, 1984.
28. К. С. Smyth, S. G. Lias, P. Ausloos. Comb. Sci. and Technol., 1982, 28, 314, 147.
29. Л. И. Вирин и др. Ионно-молекулярные реакции в газах. М.: Наука, 1979.
30. Л. А. Гуссак, Е. С. Семенов.— В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1977.
31. А. С. Зайцев и др.— В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1977.
32. А. Engel, J. R. von Cozens. Proc. Phys. Soc., 1963, 82, 1, 85.
33. А. С. Зайцев, С. В. Китова.— В кн.: Физика горения и методы ее исследования. Вып. 5, Чебоксары, 1975.
34. Э. Н. Король и др. Физические основы полевой масс-спектрометрии. Киев: Наук. думка, 1978.
35. N. Semenov, A. Nalbandjan, F. Rubowizky. Trans. Far. Soc., 1933, 29, 606.
36. А. Э. Малиновский. Соц. реконструкция и наука, 1934, 7, 24.
37. Б. Скалов, А. Соколик. ЖФХ, 1934, 5, 5, 617.
38. А. Б. Фиалков, В. К. Муравлев, Б. С. Фиалков. ФГВ, 1981, 17, 2, 152.
39. Н. А. Славинская и др. ЖФХ, 1960, 34, 6, 1169.
40. Н. А. Славинская и др. ЖФХ, 1962, 36, 6, 1293.
41. А. Б. Фиалков, И. А. Ларионова.— В кн.: Тез. докл. VII Всесоюз. семинара по электрофизике горения. Караганда, 1984.
42. А. Б. Фиалков, Л. А. Зиновьев, Б. С. Фиалков. ФГВ, 1983, 19, 6, 41.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И СКОРОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПРЕДЕЛЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННЫХ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

В. Н. Груздев
(Казань)

Влияние скоростной и температурной неоднородностей набегающего потока на пределы стабилизации пламени плохообтекаемым телом в виде желоба в гетерогенных смесях рассмотрено в [1]. Однако чтобы выделить влияние лишь неравномерностей по температуре и скорости, следует создать поток с равномерным распределением топлива по пространству и по фазе. С этой целью проводилось настоящее исследование на предварительно подготовленных смесях.

Схема рабочего участка установки представлена на рис. 1. По середине трубы прямоугольного сечения $12,6 \times 20$ см вдоль его короткой оси на расстоянии 40 см от выходного сечения располагался стабилизатор пламени, изготовленный в виде тела V-образного профиля с углом раскрытия 60° и характерным размером $d_{ст} = 1$ или 4 см. Затенение площади проходного сечения трубы стабилизатором составляло 5 или 20% соответственно.

Поток на входе в рабочий отсек формировался с помощью трех сопел размером 20×4 см с толщиной разделительных перегородок 3 мм. Создаваемая неоднородность была симметрична относительно среднего сопла и ориентирована вдоль стабилизатора пламени. Такую неоднородность принято называть продольной относительно стабилизатора пламени. Расстояние от края сопел до кромок стабилизатора выполняло роль камеры смешения. В одном случае стабилизаторы располагались вплотную к разделительным кромкам сопел и длина камеры смешения $L_k = 0$ (точнее, равна высоте профиля стабилизатора), в другом случае $L_k = 34,5$ см.

К среднему соплу воздух подавался по одному трубопроводу диаметром 15 см, к двум крайним — по другому трубопроводу того же диаметра с разделением на два канала. Воздух предварительно подогре-

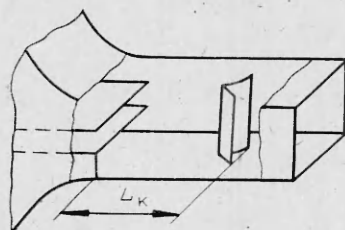


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

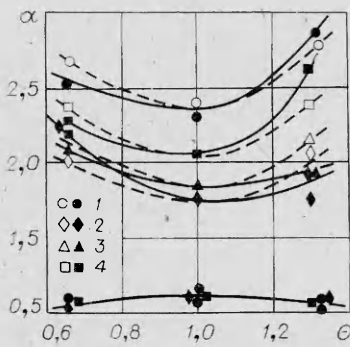


Рис. 2. Влияние температурной неоднородности набегающего потока на пределы стабилизации пламени.

При $L_K = 0,345$ м $d_{CT} = 0,04$ м (1) и $0,01$ м (3), при $L_K = 0$ $d_{CT} = 0,01$ м (2) и $0,04$ м (4). Темные точки — эксперимент, светлые — расчет.

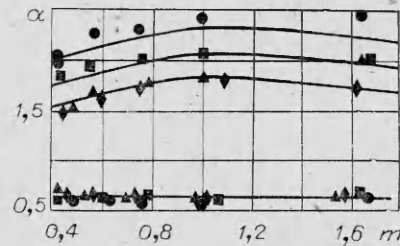


Рис. 3. Влияние скоростной неоднородности набегающего потока на пределы стабилизации пламени (обозначения аналогичны рис. 2).

вался в камерах сгорания. Степень балластирования воздуха продуктами сгорания при максимальном подогреве составляла около 20%. За камерами подогрева располагались такие же генераторные камеры, через форсунки которых подавалось основное топливо — керосин ТС-1. Расстояние от этих форсунок до выходных сопел составляло более 2 м, что по данным работы [2] при минимальной температуре потока 439 К обеспечивает степень испарения керосина не ниже 65%, а при средней температуре 573 К — приблизительно 97%.

С помощью специальной системы подачи топлива коэффициенты избытка воздуха поддерживались одинаковыми в обоих каналах. Проверка с помощью газового анализа показала, что отклонение местных значений коэффициента избытка воздуха в сечении среза сопел от среднего не превышало $\pm 11,3\%$.

Среднемассовые значения температуры и скорости оставались постоянными и равными $T_{cp} = 573$ К и $w_{cp} = 100$ м/с. В первом этапе исследовалось влияние температурной неравномерности $\Theta = T_0/T_0$ при равном поле скоростей ($w_0 = w_0$), во втором — влияние скоростной неравномерности $m = w_0/w_0$ при равном поле температур ($T_0 = T_0$; индекс нуль относится к среднему, а δ — к периферийным потокам). Во время экспериментов определяли предельные значения коэффициентов избытка воздуха, ограничивающие область устойчивого горения в зоне обратных токов за стабилизатором пламени. Срывы пламени осуществляли путем плавного уменьшения («бедная» граница) или увеличения («богатая» граница) расхода топлива до полного погасания пламени, после чего фиксировали все необходимые параметры потока.

На рис. 2 представлены пределы стабилизации пламени при $m = 1$ в зависимости от степени неравномерности температуры (см. темные точки и сплошные линии). Прежде всего следует отметить, что даже при $\Theta = 1$ и $m = 1$ уменьшение длины камеры смешения от 34,5 см до 0 приводит к небольшому сужению пределов стабилизации пламени по «бедной» границе срыва. Однако «богатая» граница оказалась независимой ни от длины камеры смешения, ни от размера стабилизатора. Обнаруженное влияние L_K на «бедную» границу срыва предположительно можно объяснить увеличением среднего уровня турбулентности за счет пограничных слоев на разделительных стенках сопел и в следах за ними, а также несколько более высокими значениями скоростей в сечении выхода из сопел вследствие меньшей площади на толщину разделительных пластин ($\sim 5\%$).

Возвращаясь к рис. 2, можно отметить, что независимо от размера стабилизатора и длины камеры смешения (в пределах ее испытанных значений) пределы стабилизации пламени и по «бедной», и по «богатой» стороне расширяются при увеличении температурной неоднородности набегающего потока.

Расширение «бедной» границы можно попытаться объяснить тем, что при снижении температуры относительно холодного потока в нем из-за неполного испарения керосина появляются капли жидкого топлива. В этом случае смесь становится гетерогенной, при которой, как известно, обе границы срыва смещены в сторону «бедных» смесей. Однако это соображение несостоятельно по двум причинам. Во-первых, как видно из рис. 2, пределы стабилизации пламени при отклонении Θ от единицы расширяются в обе стороны. Во-вторых, в соответствии с данными [3] «бедная» граница срыва в гетерогенных смесях при понижении температуры набегающего потока смещается в сторону «богатых» смесей, что также не соответствует полученным результатам.

В [1] показано, что без горения в зоне обратных токов происходит очень интенсивный тепло- и массообмен вдоль желобкового стабилизатора пламени, вследствие чего температурная неоднородность набегающего потока полностью выравнивается. В [4] по данным исследования выравнивания концентрации испаренного топлива без горения этот вывод подтвержден. Однако там же показано, что при наличии горения топлива в зоне обратных токов интенсивность массообменных процессов резко уменьшается и максимальная концентрация топлива в зоне хотя и ниже, чем в потоке, но гораздо выше средней по всему потоку. Так как массо- и теплообменные процессы в турбулентном потоке имеют единую природу, то на основании последних фактов можно заключить, что при горении начальная температура на участке зоны обратных токов, расположенной против горячего потока, будет гораздо выше, чем на участке против холодного потока. Соответственно будут отличаться и температура продуктов горения, и пределы стабилизации пламени в этих участках. Однако наблюдения показали, что срыв пламени происходит одновременно по всему стабилизатору. Подобное явление описано в [4], когда пламя в зоне обратных токов наблюдалось наряду с областями, где концентрация топлива достаточна для горения, и в областях с негорючей концентрацией. Обнаруженное явление объясняется интенсивным переносом тепла и активных центров из горящих областей в негорящие, что обеспечивает более широкие пределы по горению в последних.

Для понимания механизма и составления методики расчета стабилизации пламени в потоке с температурной неоднородностью определены значения коэффициента избытка воздуха при срыве на «бедных» смесях, соответствующие максимальным температурам в набегающем потоке:

Θ	1	0,65	1,3
T_0, K	573	439	688
T_0, K	573	676	529

Такой подход соответствует предположению, что вдоль зоны обратных токов при горении совершенно отсутствует тепло- и массообмен. При проведении расчета пользовались зависимостью $\alpha_{срыв}$ от температуры потока и балластирования по данным [5, 6]. Результаты нанесены на рис. 2 в виде светлых точек и штриховых линий. Сопоставляя результаты расчетов и экспериментов, можно заключить, что с учетом естественного разброса вследствие погрешностей эксперимента они совпадают.

Следовательно, расчет пределов стабилизации пламени предварительной подготовленных топливовоздушных смесей при относительно небольшой неоднородности набегающего потока по температуре ($\Theta = 0,65 \div 1,35$) можно проводить по температуре наиболее горячего слоя. Ширина этого слоя должна быть не меньше характерного размера стабилизатора пламени. В противном случае максимальная температура газа в зоне обратных токов будет намного ниже, чем в потоке вследствие обмена вдоль стабилизатора.

На рис. 3 приведены экспериментальные результаты по влиянию неравномерности скорости в потоке на пределы стабилизации пламени. Увеличение неравномерности скорости (отклонение m от единицы в обе стороны) приводит к сужению области стабилизации для обоих размеров

и длин камеры смещения. «Бедная» граница срыва более чувствительна к влиянию этих параметров. Аналогичные результаты получены и в работе [1] при исследовании стабилизации пламени гетерогенных смесей.

Предыдущие эксперименты по влиянию температурной неоднородности, а также данные [4] показали, что стабилизация пламени за длинным двумерным плохообтекаемым телом определяется участком с наиболее благоприятными условиями. Поэтому в данном случае срыв пламени должен соответствовать минимальной скорости и область стабилизации пламени должна расширяться с ростом неравномерности скорости. Эксперименты говорят об обратном влиянии. Известно, что неравномерность скорости в потоке порождает турбулентные пульсации скорости высокой интенсивности, а рост последних, как известно [7], довольно существенно сужает область работы стабилизатора пламени. Однако рассчитать степень влияния скоростной неравномерности через турбулентность потока на пределы стабилизации пламени довольно трудно, особенно при малых длинах камеры смещения. Это связано с большой неравномерностью распределения интенсивности турбулентности по сечению потока.

В данной работе предлагается проводить расчетную оценку этого влияния по величине максимальной скорости для каждого значения m (см. таблицу), воспользовавшись срывной характеристикой $w_{срыв} = j(\alpha_{срыв})$, полученной для данного стабилизатора в данных условиях по $L_k, T_{ср}$ при ровных полях ($m = 1, \Theta = 1$). Действительно, отклонение w_{max} от $w_{ср}$ характеризует степень неравномерности скоростного поля, а значит, и уровень генерируемой турбулентности. На рис. 3 линиями нанесены результаты такой обработки. Как видно, предложенный способ оценки влияния скоростной неравномерности набегающего потока воздуха при малых длинах камеры смещения $L_k = 8 \div 10h$ (h — поперечный наименьший размер потока) дает вполне удовлетворительный результат. Отклонения по α не превышают разброса экспериментальных точек.

m	$w_0, \text{ м/с}$	$w_8, \text{ м/с}$
0,40	167	67
0,55	143	79
0,75	120	90
1,00	100	71
1,63	71	115

Поступила в редакцию 16/IV 1984

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Груздев, А. Е. Костюченко, А. В. Талантов. — В кн.: Горение в потоке. Казань, 1980.
2. В. Л. Аполлонов, В. Н. Груздев. — Там же, 1978.
3. В. Л. Аполлонов, В. Н. Груздев, А. В. Талантов. — Там же, 1976.
4. В. Л. Аполлонов, В. Н. Груздев, А. В. Талантов. ФГВ, 1982, 18, 4, 56.
5. Б. В. Раушенбах и др. Физические основы рабочего процесса в камерах сгорания воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1964.
6. В. Л. Аполлонов, В. Н. Груздев, А. В. Талантов. — В кн.: Горение в потоке. Казань, 1974.
7. В. Н. Груздев, А. В. Талантов. — Там же, 1970.

О МАРКШТЕЙПОВСКОЙ ПОПРАВКЕ К НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИСКРІВЛЕННОГО ПЛАМЕНИ

Б. Е. Рогоза
(Днепропетровск)

В работе рассматриваются условия существования нового класса решений тепловой задачи распространения пламени — неоднородной волны горения, способной самостабилизироваться в неоднородном потоке реагирующей среды. Необходимое условие существования таких решений —