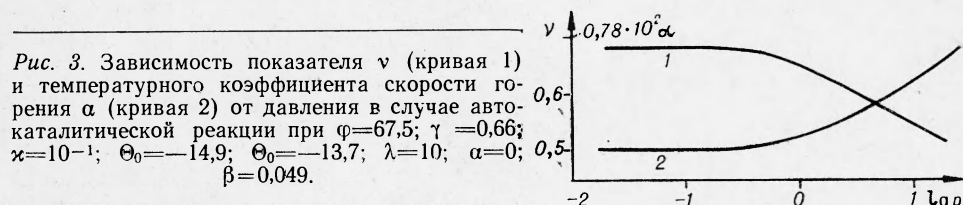


растворимость газообразных продуктов только в исключительных случаях может обеспечить переход ведущей стадии из дисперсной в конденсированную.

Отметим далее влияние автокаталитической реакции на закономерности горения в том случае, когда решающая роль принадлежит дисперсной зоне. С ростом давления увеличивается роль автокаталитической реакции, так как увеличивается количество растворенного вещества. Это приводит к более резкому возрастанию скорости горения с давлением (т. е. ν увеличивается с давлением сильнее, чем просто при наличии



растворимости). Кроме того, если предположить, что эффективная энергия активации является промежуточной величиной между E_1 и E_2 , увеличение давления приведет к изменению $E_{эфф}$ ($E_{эфф} \rightarrow E_2$) и, как следствие этого, к изменению $\alpha = \frac{E_{эфф}}{2RT_M}$

[9] (рис. 3).

ВЫВОДЫ

1. Получена система уравнений, описывающая процесс горения в условиях сильного изменения объема с учетом растворения газообразных продуктов и возможного протекания автокаталитической реакции.

2. Проанализирована роль дисперсной и конденсированной зон в процессе горения при наличии равновесной растворимости газов и сделан вывод об определяющем значении дисперсной зоны.

3. Исследовано влияние растворимости газов на закономерности горения в случае ведущей дисперсной зоны.

Поступила в редакцию
19/III 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1964, 157, 2.
2. Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1966, 1.
3. А. Д. Марголин, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1963, 150, 6.
4. В. А. Струнин. ЖФХ, 1965, XXXIX, 2, 433.
5. Б. В. Новожилов. Докл. АН СССР, 1961, 141, 1, 151.
6. Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий. ЖФХ, 1938, 12, 1001.
7. Краткий справочник химика. М.—Л., изд-во «Химия», 1964.
8. Справочник по растворимости. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1963.
9. Я. Б. Зельдович. ЖЭТФ, 1942, 11—12, 498.

УДК 536.46+532.507

ВЛИЯНИЕ ГОРЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

И. Л. Кузнецов, Г. Р. Баранова,
Ю. В. Игнатенко, А. М. Трохан
(Новосибирск)

Быстрое и неоднородное в пространстве тепловыделение в случае гомогенного турбулентного горения, очевидно, должно отразиться на турбулентности потока. В работе [1] выдвигалась гипотеза о существовании дополнительных пульсаций скорости потока, генерированных пламенем, и приводилось количественное соотношение для их

величины. Экспериментально подтвердить наличие этого эффекта (см., например, [2]) не удалось. Это, по-видимому, было обусловлено отсутствием достаточно точного метода измерения турбулентности при горении. Фотоэлектрический метод [3] позволил привести измерения турбулентности и средней скорости в зоне и продуктах горения.

В опытах применялся одноканальный вариант схемы, причем протяженность участка потока, на котором регистрировались трассирующие частицы, составляла 1,1 мм (эта величина не должна существенно превосходить масштаба турбулентности). Эксперименты проводились на «плоской» горелке с различными турбулизирующими решетками [4]; применялись смеси различных концентраций пропан-бутана с воздухом и водорода с воздухом; трассирующие частицы удовлетворяли критериям относительной безынерционности [3]. Дополнительно отсутствие «завала» степени турбулентности, связанного с инерцией частиц, проверялось опытным путем. Участок потока, где измерялись скорости трассирующих частиц, освещался интенсивным внешним источником, вследствие чего при измерениях в зоне горения регистрировались как самосветящиеся частицы, находящиеся в продуктах, так и холодные, находящиеся в свежей смеси.

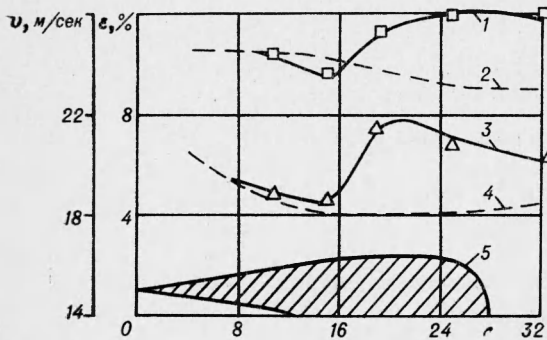


Рис. 1. Изменение степени турбулентности и средней скорости на оси потока с расстоянием (см) от среза горелки.

1 — средняя скорость при горении; 2 — средняя скорость в холодном потоке; 3 — степень турбулентности при горении; 4 — степень турбулентности в холодном потоке; 5 — контур зоны горения.

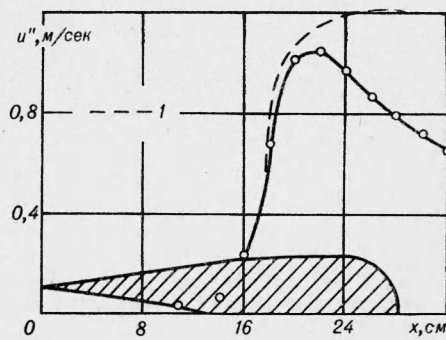


Рис. 2. Распределение дополнительных пульсаций u'' вдоль зоны горения.

1 — ожидаемое распределение при отсутствии диссипации.

Свечение пламени исключалось повышением уровня дискриминации, который подбирался так, чтобы при отсутствии трассирующих частиц пламя не давало импульсов на выходе дискриминатора. Это было возможно потому, что для пламени, на которых велись эксперименты, импульсы напряжения на выходе ФЭУ от трассирующих частиц были существенно больше импульсов от пламени (при этом учитывалась как величина импульсов от подсвеченных, так и от самосветящихся частиц).

Измерялось распределение степени турбулентности и средней скорости на оси потока вдоль зоны горения от свежей смеси до продуктов сгорания. Типичное распределение этих величин для одного из режимов горения смеси 4,5% пропан-бутана с воздухом приведено на рис. 1. Сравнивая распределение степени турбулентности при наличии и при отсутствии горения, легко заметить ее существенное возрастание, вызванное горением. Этот эффект четко наблюдается во всех исследованных пламенах. Убывание степени турбулентности в конце зоны горения и в продуктах сгорания, несомненно, обусловлено диссипацией. При отсутствии диссипации следовало бы ожидать максимальной степени турбулентности в конце этой зоны.

Любопытно отметить, что в продуктах сгорания величина степени турбулентности приближается к соответствующему значению в потоке без горения, так что вывод об отсутствии турбулентности, генерированной пламенем, сделанный на основании измерений в продуктах сгорания, вполне объясним. Характерно также и приведенное на рис. 1 распределение средней скорости: в начале зоны она несколько ниже, а в конце — существенно выше соответствующих значений для потока без горения.

На рис. 2 приведено распределение дополнительных пульсаций скорости u'' , вычисленных следующим образом:

$$u'' = \varepsilon v - \varepsilon_0 v_0,$$

где ε , v — степень турбулентности и средняя скорость при горении; ε_0 , v_0 — соответствующие величины в потоке без горения.

Можно убедиться, что u'' всегда достигает максимального значения в некоторой точке, расположенной ближе к концу зоны горения. Дальнейшее убывание значений

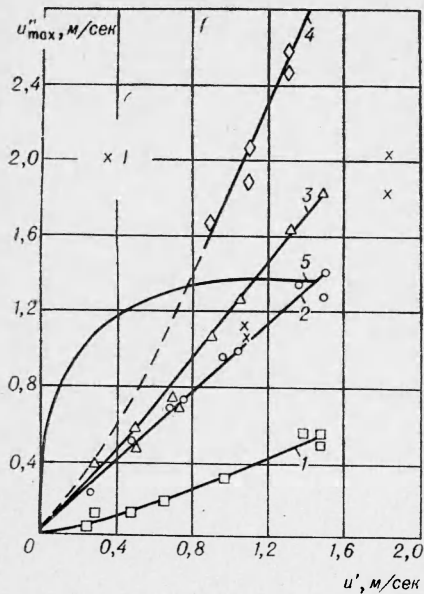


Рис. 3. Максимальные пульсации скорости, генерированные пламенем, для различных смесей.

1 — 3,3% пропан-бутана, $u_n = 25,1$ см/сек, $E = 7,48$; 2 — 3,8% пропан-бутана, $u_n = 30,7$ см/сек, $E = 7,83$; 3 — 4,5% пропан-бутана, $u_n = 33,0$ см/сек, $E = 8,05$; 4 — 19% водорода, $u_n = 66,0$ см/сек, $E = 5,3$; 5 — по зависимости (1) для 4,5% пропан-бутана с воздухом.
I — 17,6% водорода.

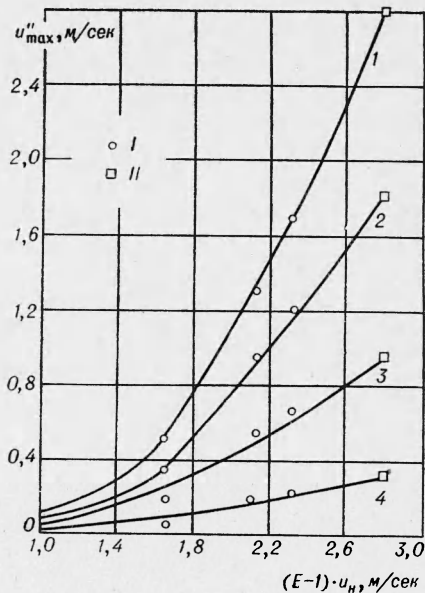


Рис. 4. Зависимость максимальных пульсаций скорости, генерированных пламенем, от свойств смеси.

1 — $u' = 1,4$ м/сек; 2 — $u' = 1,0$ м/сек; 3 — $u' = 0,6$ м/сек; 4 — $u' = 0,2$ м/сек;
I — пропан-бутан; II — водород.

u'' обусловлено также диссипацией, которая в высокотемпературных продуктах сгорания интенсивнее, чем в холодном потоке.

Зависимость максимальной величины дополнительных пульсаций скорости u''_{max} от величины пульсаций скорости в холодном потоке u' для различных смесей пропан-бутана и водорода с воздухом приведена на рис. 3, где для смеси 4,5% пропан-бутана с воздухом нанесена также и кривая по соотношению:

$$u'' = u_n \cdot \frac{E - 1}{\sqrt{3}} \left[1 - \left(\frac{u_n}{u_n + u'} \right)^2 \right]^{0,5}, \quad (1)$$

где u_n — нормальная скорость; E — коэффициент расширения.

Соотношение (1) представляет собой несколько видоизмененную формулу из работы [1] (более корректное, но менее удобное выражение для u'' содержит в знаменателе правой части в квадратных скобках сумму $u_n + u' + u''$).

Значения u' вычислялись в тех же самых точках потока, где и u''_{max} . Из рис. 3 прежде всего видна корреляция величин u''_{max} и u' (в опытах применялись различные турбулизирующие решетки), а также u''_{max} с величиной $(E - 1) \cdot u_n$. Действительно, для смесей 3,8% пропан-бутана с воздухом и 17,6% водорода с воздухом, у которых произведения $(E - 1) \cdot u_n$ равны, а сами величины E и u_n сильно отличаются, наблюдаются весьма близкие зависимости u''_{max} от u' .

Явное несоответствие зависимости (1) и результатов эксперимента, по-видимому, не следует рассматривать как некое опровержение этой зависимости. Соотношение (1) дает величину дополнительных пульсаций скорости непосредственно в области искривленной поверхности горения, тогда как в настоящих опытах измерялись средние по времени значения пульсаций в определенных точках стационарного пламени, причем в начале зоны, где вероятность пребывания поверхности горения невелика, статистический вес возмущений от пламени на фоне невозмущенного потока также мал, а в конце зоны,

где измерялась величина u''_{\max} , вероятно наложение возмущений от различных поверхностей горения; в дополнение картина явления сильно искажена наличием диссипации.

В этой связи большой интерес представляют опыты при малых значениях u' ($u' \approx 0,3$ м/сек), поскольку в этом случае протяженность зоны мала, диссипация скажется меньше, а наложение пульсации — маловероятно. К сожалению, использовавшаяся конструкция горелки не позволила провести такие опыты. Приведенные на рис. 4 зависимости u''_{\max} от $(E - 1) \cdot u_n$, полученные путем сечения кривых на рис. 3 при различных u' , еще раз подчеркивают тесную корреляцию u''_{\max} с $(E - 1) \cdot u_n$, так как результаты опытов со смесями пропан-бутана и водорода с воздухом ложатся на одни и те же кривые.

Небезынтересно отметить и тот факт, что амплитудный спектр пульсаций скорости при наличии горения удовлетворительно согласуется с распределением Гаусса так же, как и в изотермическом потоке. Очень трудно сразу объяснить все тонкости поведения полученных зависимостей, поэтому многие вопросы, естественно, являются предметом дальнейших исследований в этой области. Тем не менее, повышение уровня турбулентности при горении бесспорно, причем величина этого эффекта такова, что необходимо учитывать его влияние на процесс горения в целом.

Поступила в редакцию
4/IV 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. B. Karlovitz, D. Denniston, F. Wells, J. Chem. Phys., 1951, 19, 5, 541.
2. А. Г. Прудников. В кн. «Горение в турбулентном потоке». М., АН СССР, 1959, 88.
3. А. М. Трохан, И. Л. Кузнецов, Г. Р. Баранова, Ю. В. Игнатенко. ФГВ, 1966, 1.
4. Л. С. Козаченко, И. Л. Кузнецов. Научно-технические проблемы горения и взрыва, 1965, 1.

УДК 534.222.2+541.427.6

ВОЗБУЖДЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ ИЗЛУЧЕНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА

А. А. Бриш, И. А. Галеев, Б. Н. Зайцев,
Е. А. Сбитнев, Л. В. Татаринцев
(Москва)

Вопрос о действии света на различные взрывчатые вещества рассматривался ранее [1—3]. Было показано, что в случае мощных импульсов света, получаемых от газоразрядных ламп, в некоторых первичных ВВ возникала детонация, развивающаяся по тепловому механизму. Для вторичных ВВ детонацию не удалось получить даже при

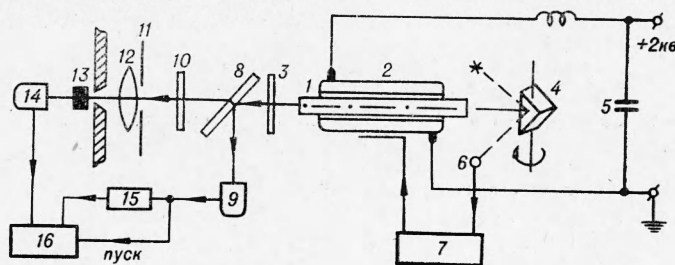


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.
1 — активный элемент; 2 — лампа ИФПП-7000; 3 — полупрозрачное зеркало; 4 — вращающаяся призма; 5 — батарея конденсаторов 15000 мкФ; 6 — фотодиод; 7 — схема синхронизации поджига лампы; 8 — плоскопараллельная пластина; 9 — коаксиальный (инфракрасный) фотоэлемент; 10 — светофильтр; 11 — диафрагма; 12 — фокусирующая линза; 13 — навеска ВВ; 14 — коаксиальный фотоэлемент; 15 — линия задержки на 0,4 мксек; 16 — осциллограф.