

дающей науглероживанием реакционного слоя, что приводит к увеличению вязкости слоя и снижению интенсивности диспергирования.

Переход к более высоким значениям скорости спада давления приводит к усилению процесса диспергирования. При этом наблюдается сглаживание зависимостей  $\tau(p_0)$ . Так, при  $dp/dt=10\ 000$  атм/с величины  $\tau$  слабо зависят от начального давления. Можно ожидать, что при дальнейшем повышении скорости спада давления фактор диспергирования начнет превалировать над температурным, что приведет к появлению зависимостей  $\tau(p_0)$ , аналогичных пороху Н.

Таким образом, в процессе потухания баллиститных порохов при быстром спаде давления значительную роль играет фактор диспергирования реакционного слоя.

*Поступила в редакцию  
5/111 1976*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дженсен, Браун, РТК, 1971, 9, 9, 5.
2. Ю. С. Иващенко, А. С. Комаров, В. Л. Павленко. ФГЗ 1975, 11, 2, 213.
3. А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1960, 135, 6, 1439.

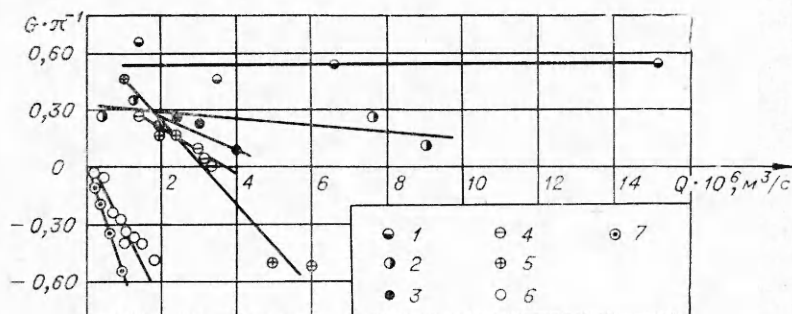
### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ СООТНОШЕНИЙ В КАПИЛЛЯРНОМ ПОЮЩЕМ ПЛАМЕНИ

*А. М. Аввакумов, И. В. Чучкалов*

*(Чебоксары)*

Капиллярное поющее пламя образуется на конце тонкого длинного капилляра, помещенного в широкую вертикальную трубу-резонатор на расстоянии  $1/4$  от нижнего конца трубы [1, 2]. При определенных условиях такое пламя возбуждает колебания с частотой основного тона трубы. Возбуждение колебаний наблюдалось при диффузионном горении водорода, ацетилена и этилена [1, 2]. Согласно [1—3], механизм возбуждения колебаний сводится к периодическому изменению скорости горения, которая, в свою очередь, определяется диффузионным обменом, зависящим от скорости воздуха. Акустические возмущения, накладываясь на среднее конвективное течение, периодически увеличивают или уменьшают скорость потока и с той же частотой возмущают тепловыделение. Наличие некоторого запаздывания горения создает благоприятные фазовые соотношения для возбуждения колебаний [4]. Однако экспериментальной проверки фазовых соотношений не проводилось.

В настоящей работе исследовались фазовые соотношения между колебаниями излучения пламени и колебаниями давления в трубе-резонаторе (стеклянная трубка диаметром  $d=25$  мм и длиной  $l=0,4\div 1,0$  м). В качестве горючих газов использовались водород и ацетилен. Колебания давления регистрировались пьезокерамическим датчиком, вмонтированным в стенку трубы, а излучение пламени — фотоумножителем ФЭУ-19М. Сигналы с датчиков поступали на двухлучевой осциллограф Д-581, с помощью которого измерялись фазовые соотношения.



Фазовые соотношения в капиллярном поющем пламени.

1—4 — водород; 5—7 — ацетилен.  $l$ , м: 1—0,92, 2—0,68, 3—0,54, 4—0,49, 5—0,91, 6—0,48, 7—0,39.

Зависимость сдвига фаз от расхода газа для различных длин труб представлена на рисунке. Здесь сдвиг фаз принят положительным, если колебания излучения опережают по фазе колебания давления. Фазовые соотношения измерялись практически во всей области возбуждения колебаний. При этом сдвиг фаз изменялся от  $-\pi/2$  до  $+\pi/2$ .

Из рисунка видно, что зависимость сдвига фаз от расхода газа для данной трубы почти линейная. С увеличением расхода колебания излучения все больше отстают по фазе относительно своего прежнего значения. Такая зависимость усиливается с уменьшением длины трубы. Поскольку колебания происходят на основном тоне, то из анализа зависимости сдвига фаз от расхода газа для различных длин труб можно заключить, что колебания излучения с увеличением частоты отстают по фазе относительно своего прежнего значения. Характерно, что для одних и тех же условий сдвиг фаз больше для водородных пламен, чем для ацетиленовых, если колебания излучения опережают колебания давления, и, наоборот, он меньше для водородных пламен в случае отставания колебаний излучения.

Объяснить полученные закономерности можно, воспользовавшись понятием времени задержки горения. Положим, что причиной колебаний излучения являются колебания скорости горения, поэтому колебания излучения, скорости и теплоподвода будут практически синфазны. Если в трубе имеют место стоячие волны, то максимальная скорость горения, а следовательно, и излучение должны опережать колебания давления на  $\pi/2$ . Но вследствие конечности скорости горения и диффузионных процессов изменение скорости горения произойдет с некоторым запаздыванием, которое внесет вклад в фазовые соотношения. Это запаздывание, по-видимому, растет с увеличением расхода газа, о чем свидетельствуют зависимости фазовых соотношений от расхода. Время запаздывания горения зависит прежде всего от химико-кинетических свойств горючего. Поэтому в смесях с меньшей скоростью горения и с меньшим коэффициентом диффузии следует ожидать большего запаздывания колебаний излучения. Это хорошо видно из сравнения фазовых соотношений для водородного и ацетиленового пламени при одинаковых аппаратных условиях. Если запаздывание превышает полупериод колебаний, то такие пламена не возбуждают колебаний. Последним можно объяснить тот факт, что в аналогичных аппаратных условиях пламена СО, пропана и других газов не возбуждали колебаний.

Предположим, что фазовые соотношения обусловлены временем запаздывания, которое остается постоянным при одинаковом расходе.

Запаздывание  $\tau$  приведет к запаздыванию по фазе на величину

$$\varphi = 2\pi \cdot \tau / T.$$

При уменьшении длины трубы соответственно уменьшится период колебаний  $T$ , а это приведет к возрастанию фазового запаздывания. Последнее подтверждает зависимость фазовых соотношений от расхода для различных длин труб, приведенную на рисунке.

Если изменять расход газа в длинной и короткой трубе (т. е. изменять  $\tau$ ), то из формулы следует, что в длинной трубе (низкие частоты колебаний) изменение расхода приведет к меньшим изменениям фазовых соотношений, чем в короткой (высокие частоты колебаний). Этим можно объяснить более слабую зависимость сдвига фаз от расхода в длинных трубах, чем в коротких трубах (см. рисунок).

Таким образом, фазовые измерения подтверждают механизм возбуждения колебаний в капиллярном пламени, предложенный в [1, 2].

*Поступила в редакцию 4/VI 1976,  
после доработки — 11/X 1976*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Подымов. Изв. вузов. Физика, 1959, 3.
2. В. Н. Подымов, П. А. Нордеи. Изв. вузов, Физика, 1961, 1.
3. Г. Ф. Кнорре, К. М. Арефьев и др. Теория топочных процессов. М., «Энергия», 1966.
4. Д. В. Стретт (лорд Рэлей). Теория звука. Т. 2. М., Гостехиздат, 1955.

#### ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УБЫЛИ МАССЫ ПРИ ГОРЕНИИ

*В. Д. Кочаков, А. Э. Аверсон, С. А. Абруков*

*(Чебоксары)*

Необходимость изготовления датчика для регистрации изменения массы при горении конденсированных систем вызвана противоречивыми выводами, полученными в работах [1, 2] при изучении горения нитроглицеринового пороха. В [1] указывается, что пульсации свечения, обнаруженные при кино съемке процесса, есть вторичные эффекты и не играют принципиальной роли в механизме горения. В [2] высказано предположение о существовании пульсирующего режима как основного механизма горения нитроцеллюлозных порохов. Ясность в этот вопрос могли внести, на наш взгляд, прямые измерения убыли массы горящего пороха с одновременной регистрацией свечения и давления.

В отличие от весового метода, описанного в работе [3], в настоящем исследовании применен метод измерения массы как меры инертности. Это позволило полностью избавиться от действия реактивной силы и упростить конструкцию датчика. Чертеж прибора представлен на рис. 1.

Датчик убыли массы — это частотный датчик на основе механической колебательной системы с рассредоточенной массой, собственная частота которой зависит от массы колеблющегося тела. В настоящей работе механической колебательной системой служит пластина 4 плавленного кварца с размерами  $2 \times 12 \times 47$  мм<sup>3</sup> и массой 2,5 г. Одновременно эта пластина выполняет роль световода для излучения,