

Рис. 3. Зависимости Δn (1) и $(T - T_0)/T_0$ (2) от высоты над срезом горелки h в первой зоне на оси пламени.

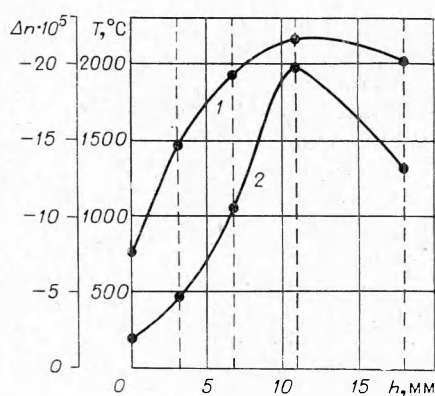


Рис. 4. Зависимости максимальных значений Δn (1) и T (2) от h во второй зоне.

о существовании в объеме пламени сменяющих друг друга слоев с различными градиентами показателя преломления (зона 1), а также температуры (зона 2).

Отсюда можно сделать вывод о наличии в объеме поющего пламени цилиндрических слоев с переменными физико-химическими свойствами, в частности с тепловыделением, что соответствует общепринятому представлению об автоколебательной природе системы поющего пламени, где пламя служит внутренним источником энергии. Количественные характеристики периодического изменения структуры поющего пламени приведены на рис. 3, 4 в виде зависимостей Δn и T от h .

Поступила в редакцию
15/II 1977,
после доработки — 24/V 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. R. E. Brooks, L. O. Heflinger, R. E. Wuerker. Appl. Phys. Lett., 1965, 7, 248.
2. С. А. Аброков, Э. С. Воронин и др. Квантовая электроника, 1975, 2, 5, 1101.
3. Дж. Рэлей. Теория звука. Т. 2. М., ИЛ, 1955.
4. H. Schardin. Ver. Deut. Ing. Forschungsheft, 1934, 367, 5, 1.
5. С. А. Аброков. Уч. зап. КГУ. Т. 115, кн. 12. Казань, 1955.

ВЫБОР УСЛОВИЙ ИСТЕЧЕНИЯ ПАСТЫ ИЗ КАНАЛА, ИСКЛЮЧАЮЩИХ ПРОРЫВ ПЛАМЕНИ

Р. А. Зеленин, Л. М. Чеснокова, С. А. Чесноков

(Тула)

Одним из важных вопросов, подлежащих решению при проектировании энергетических установок, работающих на пастообразном топливе, является устранение возможности прорыва пламени в канал при выдавливании топлива в камеру сгорания [1]. Прорыв пламени возникает в том случае, если не обеспечивается соотношение между местной скоростью потока $w(r)$ и скоростью горения u :

$$w(r) \geq u.$$

В работе [2] в качестве критерия, определяющего наличие прорыва, выбирается показатель степени ν в законе скорости горения $u \sim p^\nu$ и выводится соотношение для рабочих расходов в зависимости от его величины. Однако приводимые в [2] зависимости не устанавливают однозначной связи между расходом топлива через канал и давлением в камере сгорания, при которых отсутствует прорыв.

В данной работе рассмотрена методика определения границ изменения расходов Q пасты из цилиндрического канала круглого сечения, исключающих прорыв, в зависимости от давления в камере сгорания.

При вытеснении топлива из канала поверхность горения формируется в результате взаимодействия движения пасты под действием перепада давлений и встречного движения фронта горения. Если паста в канале движется без скольжения на стенке, на выходном срезе канала устанавливается некоторый профиль скорости потока $w(r)$. При наличии скольжения профиль скорости стремится к прямоугольному. Наложение на профиль $w(r)$ значения скорости горения топлива (рис. 1) показывает, что вблизи стенки канала существует зона, где скорость горения выше местной скорости течения. Следовательно, в этой зоне следует ожидать проникновения пламени в канал.

Для твердых топлив существует понятие критического диаметра горения d^* — максимального диаметра образца топлива, не способного гореть из-за теплопотерь. Вполне логично использовать представление о критическом диаметре горения и для пастообразного топлива [2]. Тогда вблизи стенки канала вследствие потерь тепла в стенку паста не должна гореть на участке, приблизительно равном d^* . Отсюда, очевидно, и следует условие отсутствия проскока пламени в канал. Величина критического диаметра горения d^* должна быть больше того участка диаметра канала, прилегающего к стенке, размер которого определяется равенством скоростей $w(r) = u$. Величина этого участка определяется из равенства

$$\Delta r_{\text{пр}} = R - r_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где R — радиус канала; величина $r_{\text{пр}}$ находится из выражения для профиля скорости течения. В частности, для установившегося течения степенной жидкости без скольжения [3]

$$w(r) = w_m \cdot (3n+1)/(n+1) \cdot [1 - (r_{\text{пр}}/R)^{(n+1)/n}] = u(p), \quad (2)$$

$$w_m = Q/\pi R^2.$$

Как известно [4], критический диаметр горения с ростом давления уменьшается вследствие уменьшения относительных теплопотерь. Величина $\Delta r_{\text{пр}}$ с ростом давления при постоянном расходе Q увеличивается, как это следует из формул (1), (2).

На рис. 2 приведены графики экспериментальной зависимости d^* и расчетной величины $\Delta r_{\text{пр}}$ от давления для пастообразного топлива, имеющего скорость горения $1,4 \cdot 10^{-2}$ м/с при давлении $40 \cdot 10^5$ Н/м². Кривая зависимости $d^*(p)$ делит все поле графика на две области. При всех значениях p и Q , лежащих выше этой кривой, всегда будет существовать прорыв пламени в канал. Ниже кривой $d^*(p)$ располагается область, в которой надо выбирать величины p и Q при проектировании энергетической установки на пастообразном топливе.

Данные рис. 2 можно представить в другом виде, если построить зависимости величины расходов от давления как точки пересечения графиков $d^*(p)$ и $\Delta r_{\text{пр}}(p, Q)$. Тогда получаются зависимости $Q(p)$ (рис. 3), где каждая кривая соответствует определенному диаметру канала. Причем, чем меньше диаметр канала, тем шире область возможных расходов и давлений в камере, при которых невозможен прорыв пламени в канал. Таким образом, с точки зрения отсутствия проскока

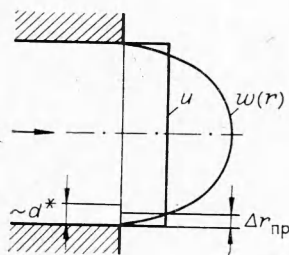


Рис. 1. Схема течения.

и возможности широко варьирования расходами топлива и давлениями в камере, целесообразно выбирать каналы меньшего диаметра.

В заключение отметим следующее. Рассмотренная выше схема возникновения прорыва пламени в канал будет иметь место при отсутствии скольжения. При наличии скольжения в зависимости от величины скорости скольжения и ширины пристенного слоя критерии возникновения проскока могут меняться. При абсолютном скольжении и в предположении малой ширины пристенного слоя (согласно теоретическим предпосылкам — несколько микрон, но не более 1/2 диаметра твердых частиц [5]) прорыва не будет, если соблюдаются условия, выведенные в работе [2].

Таким образом, при проектировании установок на пастообразном топливе можно предотвратить прорыв пламени в канал, обеспечивая скольжение пасты вблизи стенки. Последнее может быть достигнуто соответствующим выбором материала, шероховатости поверхности, длины канала.

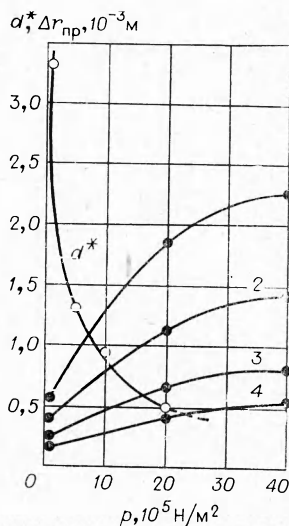


Рис. 2. Результаты расчета величины $\Delta r_{пр}(p, Q)$ и экспериментальные значения критического диаметра горения. Диаметр канала — $2,14 \cdot 10^{-2}$ м.

Q равно: 1 — $7,2 \cdot 10^{-6}$ м³/с, 2 — $10,8 \cdot 10^{-6}$, 3 — $18 \cdot 10^{-6}$; 4 — $28 \cdot 10^{-6}$ м³/с.

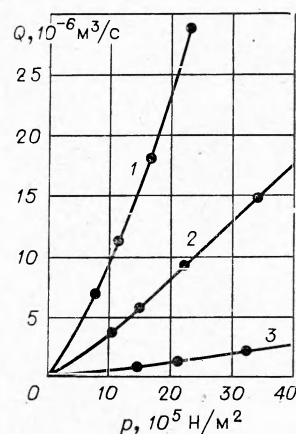


Рис. 3. Изменение рабочей области значений p и Q в зависимости от диаметра канала.

1 — $2,14 \cdot 10^{-2}$ м; 2 — $1,56 \cdot 10^{-2}$; 3 — $2R = 10^{-2}$ м.

Поступила в редакцию
15/II 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. А. З. Чулков. — В сб.: Ракетные топлива. М., «Мир», 1975.
2. Л. К. Гусаченко, А. Д. Марголин. ФГВ, 1975, 11, 4, 657.
3. У. Л. Уилкинсон. Неньютоновские жидкости. М., «Мир», 1964.
4. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М., «Наука», 1966.
5. Д. М. Толстой. Коллоид. журн., 1947, 9, 6.