

95%. Таким образом, можно сделать вывод, что применение форсунок тонкого распыла более целесообразно.

### Л и т е р а т у р а

1. Резняков А.Б., Басина И.П., Бухман С.В. и др. Горение натурального твердого топлива. - Алма-Ата: Наука, 1968. - 410 с.
2. Баретейн С., Хаммер С., Агоста В. Дегонация и двухфазное течение. - М.: Мир, 1966, - 374 с.

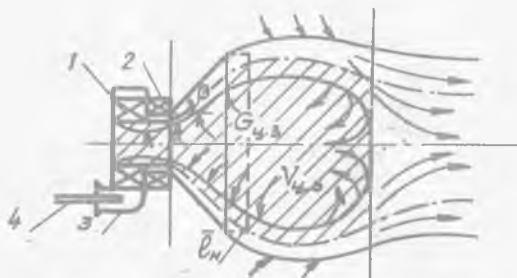
УДК 629.7.026.3:621.043.056

С.Н.Вахнеев, И.И.Онищук

### К РАСЧЕТУ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЗОНЫ ЗА ВИХРЕВОЙ ГОРЕЛКОЙ

В данной работе исследовалось влияние основных параметров вихревой горелки специальной схемы на аэродинамические характеристики циркуляционной зоны, определяющие устойчивость горения предварительно подготовленной смеси.

Исследуемая горелка (рис. 1) состоит из двух соосных завихрителей 1 и



Р и с. 1. Схема вихревой горелки

2, один из которых (топливовоздушный) 1 окружен "улиткой" с входным патрубком 3, куда совместно с воздухом струйной форсункой 4 подавалось жидкое топливо при низком давлении. Закрутка потоков в завихрителях горелки осуществляется в противоположные стороны. Топливоздушная смесь образуется при взаимодействии топлива с высокоскоростными потоками воздуха в проточной части горелки.

В модели процесса [1, 2] предполагалось, что расход через циркуляционную зону ( $G_{4,3}$ ) равен расходу газа, отводимому от струи в обратный ток и эжектируемому внутренней поверхностью струи. Состав газа в циркуляционной зоне такой, как и в среднем по струе в сечении, где заканчивается циркуляционная зона. Эжекция массы в струю определялась с использованием зависимостей для спутных турбулентных струй с учетом

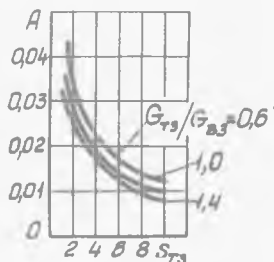
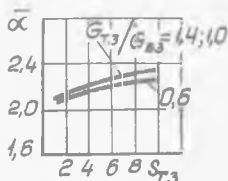
закрутки потока и кривизны траектории. При этом в расчет введен эмпирический коэффициент, учитывающий повышенный уровень интенсивности турбулентности из-за взаимодействия закрученных струй. Расчет проводился на ЭВМ методом конечных разностей.

С целью применимости результатов к геометрически подобным горелкам были введены безразмерные параметры  $A$  и  $\alpha$ . Параметр  $A = \frac{G_{4.3}}{V_{4.3} \rho}$  характеризует отношение расхода смеси через циркуляционную зону к ее объему. Величина  $G_{4.3}/V_{4.3} \bar{D}^2$  однозначно связана с параметром  $A$ , если заданы эффективная площадь завихрителей ( $M_r F_r$ ) и расход газа через горелку ( $G_r$ ):

$$\frac{G_{4.3}}{V_{4.3} \bar{D}^2} = \frac{G_r}{M_r \bar{D}^2 (M_r F_r)^{1/2}} A,$$

- где  $\bar{G}_{4.3} = G_{4.3}/G_r$  - относительный расход газа через циркуляционную зону;
- $\bar{V}_{4.3} = V_{4.3}/V_r$  - относительный объем циркуляционной зоны;
- $K$  - величина, зависящая от конструктивных параметров горелки;
- $M_0$  - молекулярный вес воздуха.

Относительное значение коэффициента избытка воздуха  $\bar{\alpha} = \alpha_{4.3}/\alpha_r$  (где  $\alpha_r$  - состав смеси, определяемый расходами топлива и воздуха через горелку) характеризует состав смеси в циркуляционной зоне. Таким образом, зная параметры  $A$  и  $\bar{\alpha}$  и режим работы конкретной горелки, можно с использованием зависи-



Р и с. 2. Зависимость  $A$  и  $\bar{\alpha}$  от параметра закрутки топливоздушного завихрителя

мости для гомогенного реактора  $\alpha_{max} f(\frac{G_{4.3}}{V_{4.3} \rho}; T)$  [2] определить границу срыва горения бедной смеси.

На рис. 2 представлено изменение параметров  $A$  и  $\bar{\alpha}$  в зависимости от параметра закрутки топливоздушного завихрителя  $S_{T3}$  и соотношения расходов  $G_{T3}/G_{B3}$ . Предполагалось, что угол установки лопаток в обоих завихрителях одинаков ( $\sim 90^\circ$ ) и они геометрически подобны. Тогда  $S_{T3}$  зависит только от отношения размеров. По мере увеличения  $S_{T3}$  в пределах от 1 до 10 величина  $A$  первоначально интенсивно уменьшается, начиная же с  $S_{T3} \approx 4,0$  падение значений  $A$  замедляется. Это происходит вследствие того, что при малых закрутках ( $S_{T3} = 1-2$ ) размеры цирку-

ляционной зоны малы, что определяет повышенные значения  $A$ . Увеличение параметра  $S_{r3}$  (2-7) приводит к существенному возрастанию  $V_{u.3}$  и к уменьшению параметра  $A$ . Дальнейший рост  $S_{r3}$  не приводит к заметному изменению течения.

С увеличением закрутки  $S_{r3}$  несколько увеличивается разбавление смеси в циркуляционной зоне ( $\alpha$  повышается).

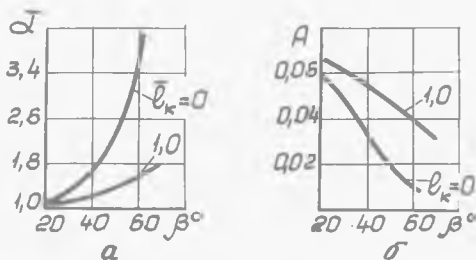
Изменение отношения расходов  $G_{r3}/G_{B3}$  через завихрители в пределах 0,6-1,4 оказывает слабое влияние на  $\alpha$  и  $A$ , так как при этом изменяется только момент количества движения и направление закрутки результирующей струи, причем абсолютные значения этого момента невелики (0,5-1,0) и его изменение не оказывает существенного влияния на течение. Такой эффект является следствием противоположной закрутки завихрителей.

Наиболее сильное влияние на параметры  $A$  и  $\alpha$  оказывает форма выходного патрубка горелки: угол расширения  $\beta$  и наличие цилиндрического участка на срезе патрубка  $\bar{e}_k$  (см. рис. 1). На рис. 3 представлено изменение значений  $\alpha$  и  $A$  от этих величин. По мере увеличения значений  $\beta$  растет объем циркуляционной зоны (особенно при  $\bar{e}_k = 0$ ), что приводит к уменьшению параметра  $A$  и возрастанию эжекции в струю воздуха из окружающего пространства. Последнее приводит к существенному обеднению состава смеси в циркуляционной зоне (рис. 3, а), особенно при больших значениях  $\beta$ . Наличие кольцевого участка  $\bar{e}_k$  существенно снижает этот эффект. Цилиндрический участок на выходе из горелки препятствует радиальному расширению струи. Это приводит к уменьшению объема циркуляционной зоны и, следовательно, к некоторому увеличению параметра  $A$ , а также к существенно меньшему разбавлению смеси в циркуляционной зоне.

Последнее представляется весьма важным с точки зрения улучшения срывных характеристик горелки при обеднении смеси.

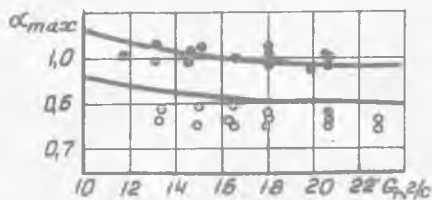
На рис. 4 в качестве примера приведены срывные характеристики вихревой горелки при наличии и без кольцевого участка на срезе выходного патрубка.

Экспериментальные значения  $\alpha_{max}$  определялись по расходу воздуха



Р и с. 3. Зависимость параметров  $A$  и  $\alpha$  от угла раствора выходного патрубка  $\beta$  и цилиндрического участка  $\bar{e}_k$

и топлива через горелку при перепаде давлений на ней, равном 2–8 кПа. Расчетные срывные характеристики в основном удовлетворительно согласуются с экспериментом.



Р и с. 4. Срывные характеристики вихревой горелки

Такой образом, предложенная методика расчета структуры течения и массообмена в циркуляционной зоне за вихревой горелкой позволила проанализировать влияние на устойчивость процесса горения основных конструктивных параметров горелки исследуемого типа и выявить целесообразные пределы их изменения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Вахнеев С.Н., Кельшман Е.А., Онищик И.И., Христофоров И.Л. Исследование механизма стабилизации процесса горения в горелках вихревого типа. — В сб.: Горение в потоке. Казань: КАИ, 1982, с. 19–23.
2. Бортников М.Т. Стабилизация процесса горения в камерах сгорания / Труды ЦИАМ, 1974, № 613, с. 5–12.

УДК 629.7.0263:621.43

С.П.Петров

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШЕНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

В данной статье изложены результаты экспериментального исследования смешения противоположно закрученных потоков в кольцевом цилиндрическом канале при различных углах закрутки и различных степенях подогрева одного из потоков. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

Воздух в рабочую часть установки подавался по двум независимым каналам, что позволяло изменять в процессе эксперимента соотношение расходов воздуха, подаваемого по наружному  $G_{н}$  и внутреннему  $G_{в}$  каналам.