

3. Г о л ь д ш т и к М.А., Л е о н т ь е в А.К., П а л е -  
е в Н.Н. Аэродинамика вихревой камеры. - Теплоэнергетика, 1961, № 2, с. 40-45.

УДК 621.181

М.А.Бухман, Г.Ж.Аралбаев, Ю.В.Берстнев,  
С.Д.Каймирасова, П.А.Рапапорт, Р.П.Рыбалова

АЭРОДИНАМИКА ПОТОКА, ОБРАЗОВАННОГО  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ СТРУЯМИ

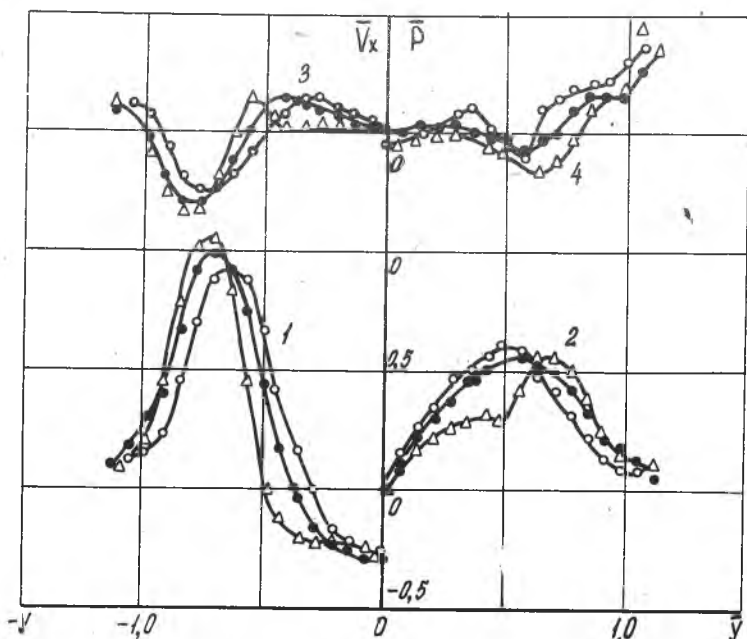
В статье приводятся результаты экспериментального исследования аэродинамической структуры факела, образованного одиночной или несколькими закрученными горелочными струями. Опыты проводились на специально созданном экспериментальном стенде, оборудованном четырьмя вихревыми двухканальными горелками с аксиально-лопаточным завихрителем по первичному и вторичному воздуху. Модель горелки имела следующие размеры: диаметр трубы канала вторичного воздуха  $d_2 = 50$  мм; диаметр центральной трубы  $d_0 = 17,5$  мм; диаметр трубы канала первичного воздуха  $d_1 = 31,5 \times 1,5$  мм. В канале первичного воздуха были стационарно установлены профилированные лопатки под углом  $\beta_{л1} = 45^\circ$ , а в канале вторичного воздуха плоские поворотные лопатки, угол установки которых изменяется от нуля до  $60^\circ$ .

По тракту первичного и вторичного воздуха были установлены поворотные шибера (для регулирования расхода воздуха) и расходомерные сопла Витошинского с четырехкратным поджатием.

Измерение распределения давления в различных поперечных сечениях горелочных струй осуществлялось пятиканальным игольчатым зондом с диаметром труб  $1,5 \times 0,25$  мм и межосевыми расстояниями 3 мм. Измерения проводились по смешанному методу. Компоненты вектора скорости и статическое давление определялись по общепринятым формулам для пятиканальных зондов.

Экспериментальные данные по осредненным характеристикам течения обрабатывались в обобщенных координатах. За характерные величины принимались: диаметр горелки ( $d_2$ ), среднерасходная

скорость истечения из устья горелки ( $U$ ), средняя величина динамического давления на выходе из горелки ( $\rho U^2/2$ ) и начальный секундный расход воздуха через горелку ( $G_0$ ).



Р и с. 1. Распределение осредненных характеристик течения в различных поперечных сечениях факела одиночной горелки: 1 -  $U_x$ ; 2 -  $U_\varphi$ ; 3 -  $U_r$ ; 4 -  $\bar{p}_{cm}$ ;  $\circ - \beta_{\Lambda 2} = 45^\circ$ ;  $\bullet - \beta_{\Lambda 2} = 55^\circ$ ;  $\Delta - \beta_{\Lambda 2} = 55^\circ$

Исследование аэродинамики факела одиночной горелки (рис. 1) показало, что аксиальная составляющая вектора скорости  $U_x$  больше тангенциальной скорости  $U_\varphi$ , а радиальная скорость  $U_r$  соизмерима с  $U_x$  и  $U_\varphi$  только в начальных сечениях струи (до  $x = 1,5 d_2$ )\*. По мере удаления от устья горелки радиальная скорость резко уменьшается и при  $x \approx 3 d_2$  составляет примерно 5% от среднерасходной скорости.

Высокий уровень радиального движения в начальных сечениях свидетельствует о хороших эжекционных способностях исследуемой го-

\* Исследования проводились в пределах установки угла лопаток аксиального завихрителя по вторичному  $\beta_{\Lambda 2} = 45^\circ - 55^\circ$ .

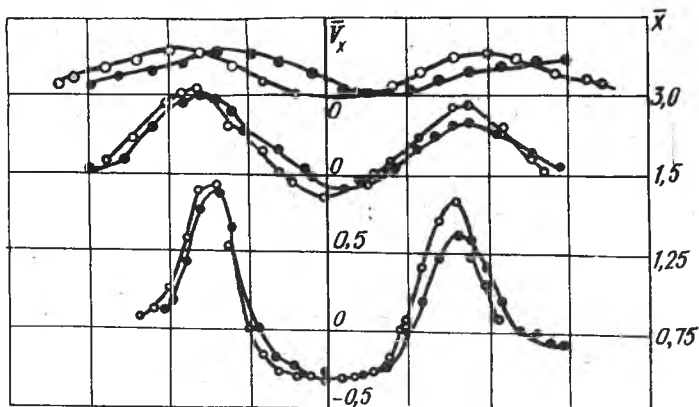
релочной струи. На расстоянии  $x = d_2$  от устья горелки расход в струе  $G$  увеличивается примерно в два раза.

В профиле аксиальной скорости в начальных сечениях струи наблюдаются две области течения: присосевая - обратных токов и периферийная - основного (прямого) потока. Протяженность зоны осевых обратных токов равна примерно двум диаметрам горелки. Начиная с этого расстояния, профиль  $U_x$  приобретает вид, характерный для слабозакрученной струи.

С увеличением угла установки лопаток аксиального завихрителя по вторичному воздуху от  $45^\circ$  до  $55^\circ$  в пристуевых сечениях факела (до  $0,7 d_2$ ) максимальные значения разрежения, аксиальной и тангенциальной скорости возрастают, а начиная с расстояния, равного диаметру горелки, практически не зависят от  $\beta_{12}$ . Местоположение максимума  $U_x$  и  $U_\varphi$  удаляется от оси факела, а его поперечные размеры и ширина зоны осевого обратного тока увеличиваются (рис. 1) При этом увеличивается количество рециркулирующих газов в присосевой области и прирост присоединенной массы. Дальнобойность факела, определенная по падению максимальных значений аксиальной скорости, остается практически неизменной. На расстоянии примерно  $3d_2$  от устья горелки максимальное значение аксиальной скорости составляет примерно 40%, а тангенциальной - 25% от среднерасходной скорости. Распределение осредненных характеристик течения в одиночном факеле практически симметрично относительно оси горелки. При работе двух или четырех горелок, расположенных в ряд, картина развития факела существенно изменяется (рис. 2). Аэродинамическая ось струи отклоняется от геометрической в сторону соседней горелки. В этой части взаимодействующих закрученных струй наблюдается уменьшение аксиальных и увеличение тангенциальных скоростей. В начальных сечениях факела (до  $x = d_2$ ) имеется область обратных токов\*. Направление вращения потоков между горелками в рассматриваемом случае спутное.

---

\* межгорелочная зона внешней рециркуляции.



Р и с. 2. Распределение аксиальной составляющей вектора скорости в различных поперечных сечениях факела при работе горелок:  $\circ$  - одиночная горелка,  $\bullet$  - две горелки

В пристенной области начальных сечений факела поток по сравнению с факелом одиночной горелки практически не изменяется. Однако, начиная с расстояния  $x \approx 1,5 d_2$  от устья горелки, местоположение максимума аксиальной, радиальной и тангенциальной скоростей смещается к оси струи. Величина максимальных значений составляющих вектора скорости в этой части факела остается практически такой же, как и в факеле одиночной горелки.

Прирост присоединенной массы в начальных сечениях факела (до начала взаимодействия струй), образованного несколькими горелочными струями, больше, а в нижних сечениях - меньше, чем в одиночном факеле.

При постоянных межосевых расстояниях между горелками и до примыкающих стен топки с изменением  $\beta_{12}$  от  $45^\circ$  до  $55^\circ$  взаимное влияние соседних струй усиливается, увеличиваются поперечные размеры присоединенной зоны рециркуляции, а межгорелочной - уменьшаются.

При противоположном направлении вращения потоков между горелками в межгорелочной зоне величина тангенциальной скорости уменьшается по сравнению со спутным направлением вращения потоков. При этом уменьшаются размеры межгорелочной зоны внешней рециркуляции и количество рециркулирующего в ней газа. На поперечные размеры зоны

осевой рециркуляции, количество рециркулирующего в ней воздуха, отнесенные величины максимальных значений аксиальной, радиальной, тангенциальной скорости и статического давления изменение направления вращения потоков между горелками не оказывает заметного влияния.

С уменьшением межосевых расстояний между горелками от трех до двух диаметров в области взаимодействия закрученных струй происходит увеличение уровня аксиальных и вращательных скоростей. При этом существенно уменьшается протяженность, поперечные размеры межгорелочной зоны внешней рециркуляции, прирост присоединенной массы и др. На распределение осредненных характеристик течения в пристенной части факела уменьшение межгорелочных расстояний не оказывает существенного влияния. Поперечные размеры и количество рециркулирующего воздуха в присоединенной области при этом остаются практически неизменными.

УДК 532.551:536.532

В. И. Лукьянов

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА ВОЗДУХА В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

П р и н я т ы е   о б о з н а ч е н и я

$U_x, U_\varphi$  - компоненты вектора скорости;  $M = \int_0^{r_2} \rho U_x U_\varphi r^2 dr$  - интегральный параметр момента количества движения;  $K_1 = \int_0^{r_2} \rho U_x^2 r dr$  - интегральный параметр осевой компоненты количества движения;  $d_3 = d_1 d_2$  - эквивалентный диаметр кольцевого канала;  $e^* = x/d_3$  - безразмерное расстояние;  $r$  - радиус;  $\tau, \tau_{rx}, \tau_{r\varphi}$  - соответственно полное касательное напряжение на стенке и его компоненты.

И н д е к с ы

1, 2, 0 - соответственно значения параметров на наружной, внутренней стенках и входе в канал.

В работе проведено расчетно-экспериментальное исследование гидродинамики и теплообмена закрученного потока воздуха в концент-