

Л и т е р а т у р а

1. С и в и р к и н В.Ф. Теория сверхзвуковой турбулентной изотермической затопленной струи и ее приложение к расчету эжекторных сопел. - В межвуз. сб. : Гидрогазодинамика, Куйбышев, 1976, вып.3.
2. К о р н Г., К о р н Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., "Наука", 1968.
3. А б р а м о в и ч Г.Н. Прикладная газовая динамика. М., "Наука", 1969.

УДК 533.6.034: 532.517.43

Н.М. Р о г а ч е в, В.В. Т о к а р е в, С.А. П а я л к а

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СНОСЯЩЕГО ПОТОКА НА ГРАНИЦЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СТРУЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

Турбулентные газовые струи, обдуваемые боковым (сносящим) потоком, используются в ряде технических устройств: камерах сгорания газотурбинных двигателей, газовых горелках струйного типа, вентиляционных воздушных завесах и т.д. Особенностью их распространения является криволинейность оси (в отличие от свободных затопленных струй), асимметрия передней границы зоны смешения относительно оси струи, подковообразная форма поперечного сечения [1] - [3].

Физическая картина течения и механизм энергичного перемешивания в струе, распространяющейся в сносящем потоке, к настоящему времени недостаточно изучены [4] - [6], что затрудняет создание точных аналитических методов расчета. Поэтому большое значение приобретает экспериментальное исследование процесса смешения для накопления опытных данных и использования их в практических целях.

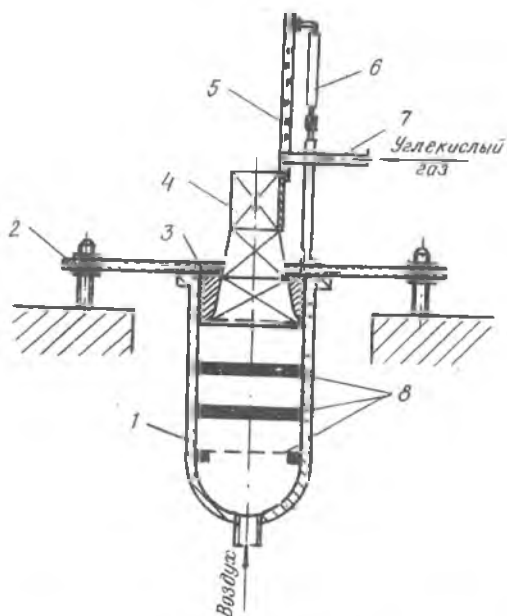
В настоящей работе экспериментально определено положение границ одиночной поперечной струи, распространяющейся в сносящем потоке. Исследования проводились в диапазоне изменения отношения скорости струи к скорости сносящего потока $\bar{U} = 0,5 - 2,0$. Выбор этого диапазона изменения скоростей обусловлен следующим: в работах [4] - [6] установлено, что при $\bar{U} > 1,0$ вследствие тангенциального разрыва

скорости на поверхности струи и за ней происходит образование системы вихрей. Они оказывают существенное влияние на процесс смешения струи. Выбирая указанное изменение скорости, авторы тем самым ставили своей целью проследить за влиянием развивающегося процесса вихреобразования на положение границ зоны смешения. В экспериментах варьировалась форма отверстия, из которого истекала поперечная струя, и начальный уровень турбулентности сносимого потока и струи.

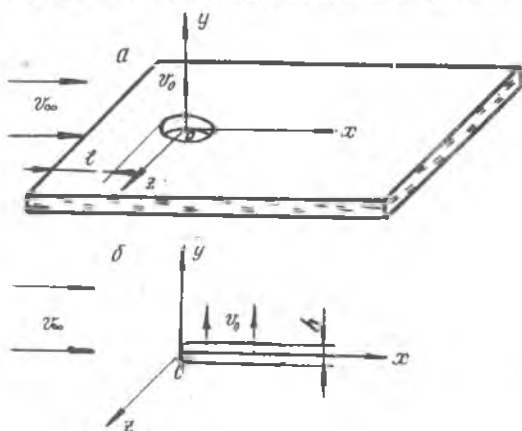
Экспериментальная установка (рис.1) состояла из выравнивающей I и сопловой 4 камер, которые крепились к фланцу 3 и могли вращаться относительно своей вертикальной оси в опорном кольцевом диске 2. Во внутреннюю полость выравнивающей камеры I устанавливались многослойные пакеты 8 из материала МР, предназначенные для гашения пульсаций поступающего в нее воздуха. С помощью телескопических штанг 6, снабженных регулировочными винтами, к сопловой камере 4 прикреплялась стеклянная пластина 5. В экспериментах использовались две сменные пластины размером 250 X 320 мм². На пескоструйном аппарате в одной из них выполнялось круглое отверстие, а в другой – овальное (рис.2). Качество стекла пластин контролировалось с помощью теневого прибора ИАБ-45Г.

Однородный сносимый поток имитировался струей воздуха, истекающей в атмосферу из сопловой камеры размером 60 X 60 мм². Струя углекислого газа вытекала из сопла 7, устанавливаемых в отверстия стеклянных пластин на расстоянии $l = 9$ мм от кромки сопловой камеры. Площади поперечных сечений сопел круглой и овальной форм сохранялись одинаковыми (круглое сопло имело внутренний диаметр $d = 10$ мм, ширина овального отверстия $h = 3,6$ мм). Для измерения уровня начальной турбулентности струй в сопловую камеру и в магистраль подачи углекислого газа устанавливались турбулизирующие решетки. В сносимом потоке размещалась решетка с диаметрами отверстий 10 мм и пористостью 0,4. Уровень турбулентности потока в зоне течения струи составлял 7%. Турбулизация струи осуществлялась установкой стержней диаметром 3 мм в магистраль подачи углекислого газа на расстоянии 10 мм от устья струи.

Постоянство скорости течения струй, вдуваемых в сносимый поток, обеспечивалось установкой жиклера в магистраль подачи углекислого газа, работающего на сверхкритическом перепаде. Скорости истечения струи и потока рассчитывались по показаниям манометров мерных участков, а температура измерялась с помощью хромель-копелевых термопар, подсоединяемых к потенциометру ПИ-63. Положение границ зоны смешения



Р и с. 1. Схема экспериментальной установки



Р и с. 2. Схема расположения координатных осей относительно стеклянных пластин: а - круглое отверстие; б - овальное отверстие

струи углекислого газа со сносящим потоком воздуха определялось методом визуализации течения с помощью теневого прибора. Вращение сопловой камеры позволяло осуществлять съемки проекций теневых изображений в 2-х взаимно перпендикулярных плоскостях. Область изменения характерных параметров приводится в таблице, где приняты следующие обозначения: ρ_0 , v_0 , ρ_∞ , v_∞ - соответственно плотности и скорости в начальном сечении струи углекислого газа и сносящего потока; q - гидродинамический параметр; Re - число Рейнольдса.

Т а б л и ц а

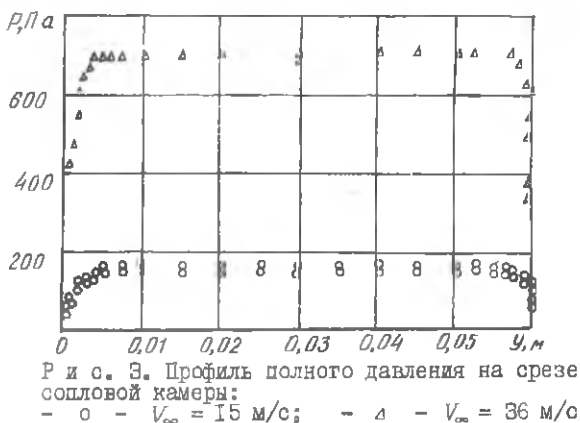
v_0 м/с	18	18	18	30	30	30	Re_0	Re_∞
v_∞ м/с	35	24	18	30	20	15	8600-	60000-
$\mathcal{F} = \frac{v_0}{v_\infty}$	0,5	0,75	1,0	1,0	1,5	2,0	40000	145000
$q = \frac{\rho_0 v_0^2}{\rho_\infty v_\infty^2}$	0,38	0,85	1,51	1,51	3,40	6,06		

Экспериментально определялась степень неравномерности поля скоростей в сносящем потоке воздуха с установленной в сопловую камеру турбулизирующей решеткой и без нее. Для этого с помощью специальной гребенки с набором трубок полного давления, изготовленных из медицинских игл с наружным диаметром 0,5 мм и внутренним - 0,2 мм, проводились измерения профилей динамических напоров. Гребенка крепилась на координатном устройстве и имела возможность перемещаться в поле течения струи в направлении осей x , y , z . Профили давлений измерялись в сечениях, перпендикулярных оси сносящего потока, лежащих на срезе сопловой камеры и на расстояниях $x = 90$ мм и 180 мм, при скоростях истечения $v_\infty = 15$ м/с и 36 м/с. Как видно из рис.3 и 4, экспериментальная установка позволяла получать равномерное распределение поля скоростей на выходе из сопловой камеры.

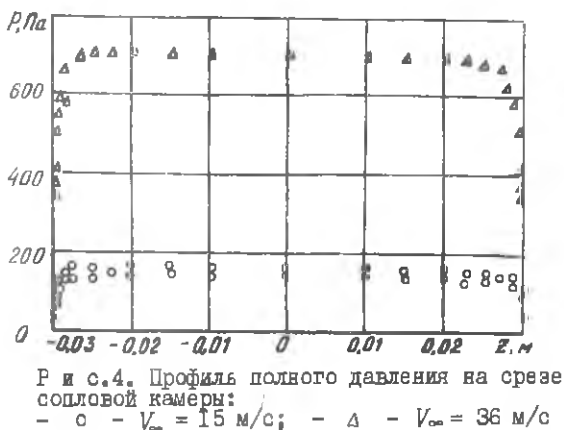
Теневые изображения различных проекций струй регистрировались на фотопленки. По данным обработок фотопленок были построены графики в безразмерных координатах (рис. 5-12), отражающие положение границ зоны смешения струй в сносящем потоке. Каждая кривая на графиках получена в результате обработки пяти фотоснимков.

Из рис. 5 и 9 для круглой струи следует, что с изменением уровня

начальной турбулентности сносящего потока (при любом значении φ) существенно возрастают значения ψ и z . В случае овальной струи данная закономерность наблюдается только при расширении ее

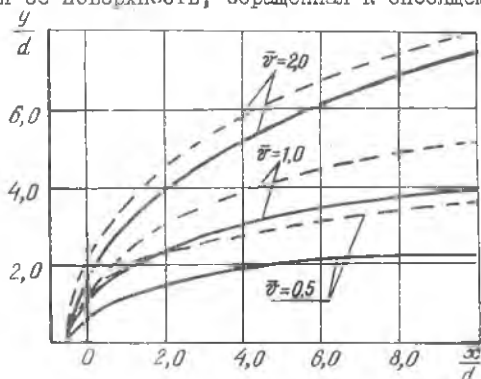


в боковом направлении (см. рис. II). Влияние турбулизации сносящего потока проявляется на положении передней границы до $\bar{z} = 1,0$ (см. рис. 7). При дальнейшем увеличении относительной скорости влияние турбулизации не обнаружено.

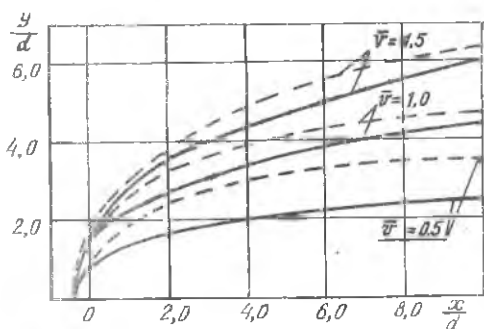


Различное влияние турбулизации при $\bar{z} > 1$ можно объяснить отличиями в характере взаимодействия струй с потоком, обусловленными

тем, что площадь поверхности, обращенной к сносящему потоку, гораздо больше у круглой струи, чем у овальной. При малых значениях относительной скорости ($\bar{v} < 1$) овальная струя, деформируясь сносящим потоком, превращается в ястильную струю, в результате чего увеличивается ее поверхность, обращенная к сносящему потоку.

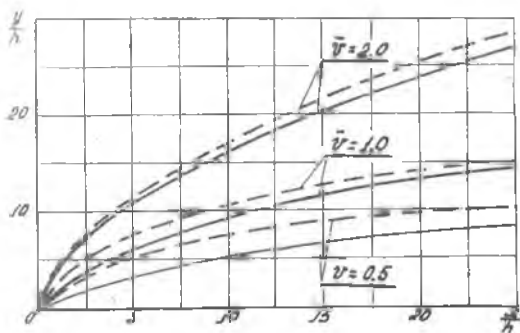


Р и с. 5. Положение передней границы круглой струи: — без турбулизирующих решеток; - - - сносящий поток турбулизован

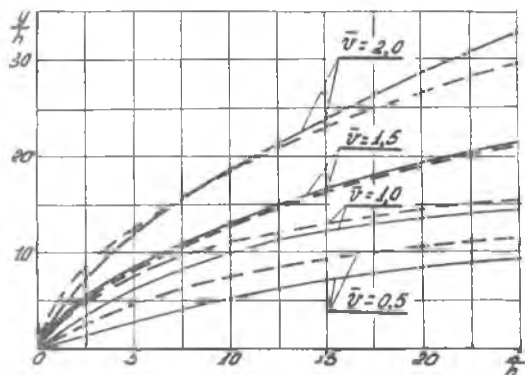


Р и с. 6. Положение передней границы круглой струи: — струя турбулизована; - - - струя и сносящий поток турбулизованы

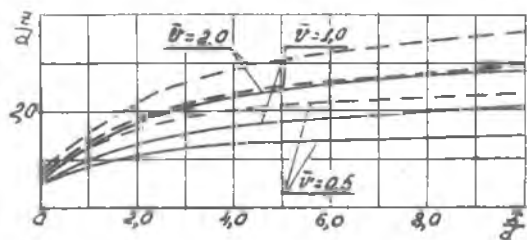
Турбулизация поперечной струи, как круглой, так и овальной, не оказывает заметного влияния на положение ее границ (см. рис. 5-12).



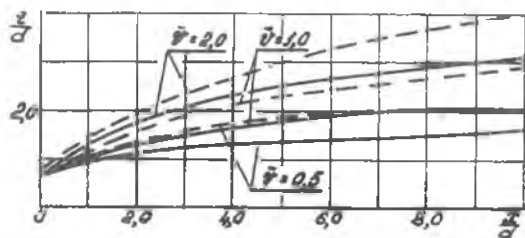
Р и с. 7. Положение передней границы овальной струи: — струя без турбулизующих решеток; - - - сносящий поток турбулизирован



Р и с. 8. Положение передней границы овальной струи: — струя турбулизирована; - - - струя и сносящий поток турбулизированы



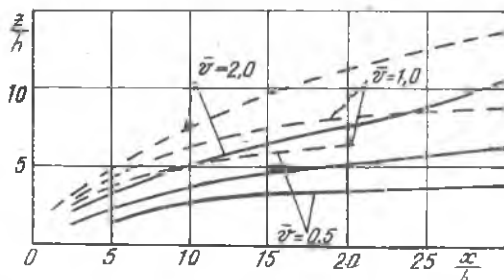
Р и с. 9. Полуширина круглой струи: — без турбулизующих решеток; - - - сносящий поток турбулизирован



Р и с. 10. Полуширина круглой струи: — струя турбулизирована; - - - струя и сносящий поток турбулизированы

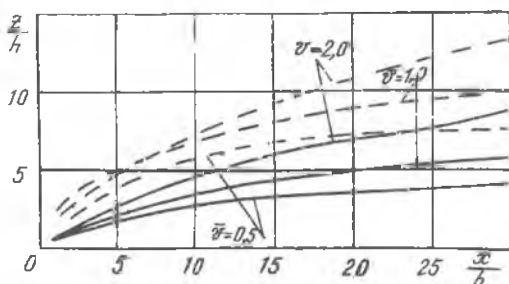
Эта закономерность наблюдается и в случае одновременной турбулизации струи и потока.

Общей особенностью течения круглой и овальной струй в сносящем потоке является их интенсивное расширение (в направлении оси z) с ростом значения относительной скорости. Если при малых значениях \bar{v} процесс расширения для круглой струи заканчивается при $\frac{x}{d} \approx 4$,



Р и с. 11. Полуширина овалной струи:
 — без турбулизирующих решеток;
 - - - сносный поток турбулизирован

то при $\bar{v} = 1 - 2$ он продолжается далее. Увеличение относительной скорости, кроме того, приводит к росту угла раскрытия следа струи на начальном этапе ее течения до $\frac{x}{d} \approx 3$ (см. рис.9). Данная закономерность может быть объяснена наличием системы вихрей, описанных



Р и с. 12. Полуширина овалной струи:
 — струя турбулизирована;
 - - - струя и сносный поток турбулизирован

в [4] - [6]. Начиная с $\frac{x}{d} \geq 3$, расширение границ струи при $\bar{v} = 1 - 2$ подчиняется закономерностям спутной струи.

На интенсивность расширения струи в боковом направлении, как показали опыты, оказывает влияние конфигурация струи. При одинаковом

абсолютном расстоянии от устья сопла ($\frac{x}{d} = 3, \frac{x}{h} = 10$) полу-
ширина струи, рассчитанная через гидравлический диаметр, у круглой
струи больше, чем у овальной, на 17%.

Л и т е р а т у р а

1. А б р а м о в и ч Г.Н. Теория турбулентных струй. М., Физмат-
гиз, 1960.
2. И в а н о в Ю.В. Эффективное сжигание надслойных горючих газов
в топках. Таллин, Эстгосиздат, 1959.
3. П а л а т н и к И.Б., Т е м и р б а е в Д.Ж. Закономерности
распространения осесимметричной воздушной струи в сносимом од-
нородном потоке. В кн.: Проблемы теплоэнергетики и прикладной
теплофизики. Алма-Ата, 1967, вып.4, с. 196-216.
4. Г о р е л о в Ю.А., В и с к о в А.Н., Ф и л и п п о в а Н.М.
Расчет поля скоростей и давлений, индуцируемых струей в сносимом
потоке. Труды ЦАГИ, 1972, вып. 1412, с. 1-25.
5. В и с к о в А.Н., Г о р е л о в Ю.А. О явлении поперечного
вихреобразования в дозвуковых струях, истекающих в сносимый
поток. Ученые записки ЦАГИ, 1973, т.1У, № 4, с. 43-47.
6. К а ш а ф у т д и н о в С.Т. О вихревых течениях, обусловлен-
ных дозвуковой струей в поперечном несжимаемом потоке. - "Извес-
тия Сибирского отделения АН СССР", серия технических наук. Ново-
сибирск, 1975, вып. I, № 3, с.83-88.

УДК 532.526

А.А. С и м а н о в и ч

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОСТИ И УГЛА ВЫХОДА ПОТОКА НА КПД ТУРБОГОРЕЛОК

Известно, что КПД горелки зависит от соотношений диаметров рабочего
колеса турбины, скоростей потока газа, от степени реактивности и
углов потока. Проведенные исследования показали, что наименьшей ве-
личине потерь соответствуют определенные значения α и α_2 , где