

На рис. 3 показано влияние \bar{F}_d на $\frac{1}{\pi'}$. Найдена эмпирическая зависимость

$$\left(\frac{1}{\pi'}\right)_{кр} = 0,21 \sqrt{\bar{F}_d} + 0,3. \quad (3)$$

Так как $\pi'_x = \pi'_r \pi'_l$, можно определить параметры критического режима, используя зависимости (1), (2) и (3).

Полученные результаты позволяют подбором геометрических (\bar{F}_c и \bar{F}_d) и режимных (π , μ) параметров вывести ВТ на критический режим - режим наибольшей температурной эффективности.

Л и т е р а т у р а

И. И за к с о н Г.С., К у д р я в ц е в В.М., М е р - к у л о в А.П., Т о к а р е в Г.П. О критических режимах вихревой трубы. - Изв. вузов. Авиационная техника, 1979, № 3.

УДК 621.565.3(088.8)

В.М.Кудрявцев*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПО ВЫСОТЕ СОПЛА ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ

Важной особенностью течения газа в сопловом вводе ВТ является наличие поля центробежных сил и высокого радиального градиента статического давления в среде, куда происходит истечение. Это приводит к существенной перестройке профиля скорости, причем за срезом соплового ввода (аналогично косому срезу направляющего аппарата лопаточных турбомашин) тангенциальная составляющая вектора скорости U_τ увеличивается до сверхзвуковых значений [1]. Малая длина канала соплового ввода, высокие скорости течения позволяют сделать предположение об энергоизолированности течения, что приводит к потенциальному распределению U_τ по высоте соплового ввода:

$$U_\tau \bar{r} = \bar{C}, \quad (1)$$

где $\bar{r} = r/r_1$ - текущий радиус; $\bar{C} = C/r_1$ - постоянная.

* Работа выполнена под руководством Г.П.Токарева.

На выходе соплового ввода можно принять $U_z = 0$ и $U_r = 0$. С учетом неравномерного распределения скорости (I) выражение для расхода сжимаемого газа запишется в виде

$$G = \bar{c} \nu \rho_1^* r_1 \int_1^{1+\bar{h}} \left[1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \left(\frac{\bar{c}}{a_{кр} \bar{r}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \frac{1}{\bar{r}} d\bar{r}, \quad (2)$$

где r_1 - радиус вихревой трубы; $h = \frac{h}{r_1}$ - относительная высота сопла; ν - ширина соплового ввода.

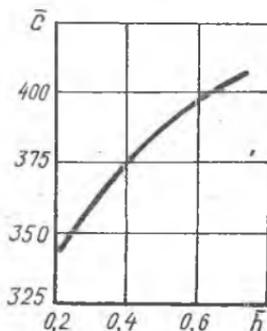
Преобразовав интеграл в выражении (2), представим интегральную функцию биномиальным рядом. При $\lambda < \sqrt{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}$ ряд сходится и его можно интегрировать почленно. С точностью до пятого члена сумму полученного ряда можно записать следующим образом:

$$y = \ln r + 1 - \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \left(\frac{\bar{c}}{a_{кр} \bar{r}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{\kappa-1}}. \quad (3)$$

Подставив в (3) пределы интегрирования из (2), получим выражение

$$G = \nu \rho_1^* r_1 \bar{c} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \frac{\bar{c}^2}{a_{кр}^2} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}} - \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \frac{\bar{c}^2}{a_{кр}^2} \frac{1}{(1-\bar{h})^2} \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} - \ln(1-\bar{h}) \right\}. \quad (4)$$

Процесс истечения представляет собой самопроизвольный переход неуравновешенной термодинамической системы в наиболее вероятное состояние за минимальное время. Можно предположить, что в рассматриваемом случае в сопловом сечении должен установиться уровень скоростей, соответствующий максимальному расходу газа при распределении U_{σ} из (I).



Р и с. I. Зависимость относительной постоянной \bar{c} от относительной высоты сопла

Численно определялось из выражения (4) значение \bar{c} при различных значениях h из условия максимума расхода. Результаты расчетов представлены на рис. I.

Образовавшийся в сопловом сечении свободный вихрь распространяется до радиуса разделения вихрей \bar{r}_2 . Осевая скорость на поверхности разделения равна нулю. Следовательно, статическое давление на поверхности разделения вихрей постоянно по длине ВТ. Потери полного давления на радиусе \bar{r}_2 по длине ВТ незначительны, поэтому можно считать, что статическое давление на радиусе \bar{r}_2 в сопловом сече-

нии равно полному давлению подогретого газа. Скорость распространяется в соответствии с выражением (I).

На основании вышеизложенного определим \bar{r}_2 в сопловом сечении, при критическом истечении из соплового ввода:

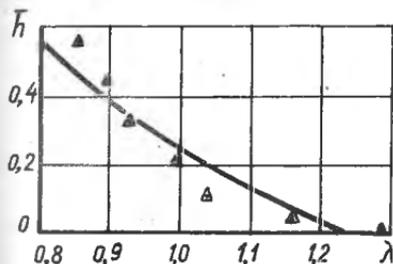
$$\frac{P_r^*}{P_1^*} = \left[1 - \frac{\kappa-1}{\kappa+1} \frac{\bar{C}^2}{\alpha_{кр}^2} \frac{1}{\bar{F}_2} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

где $P_2^*/P_r^* = \pi_r$ - степень расширения подогретого потока, тогда

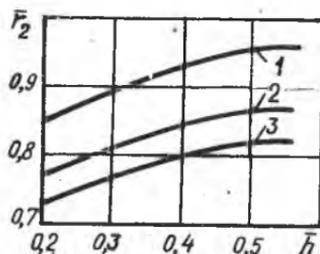
$$\bar{r}_2 = \bar{C} \sqrt{\frac{\kappa-1}{2\kappa} \frac{1}{RT_1^* \left[1 - \left(\frac{1}{\pi_r} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]}} \quad (6)$$

На рис. 2 расчетное распределение скорости сравнивается с экспериментальным из [I]: $r_1 = 0,05$ м; $h = 0,028$ м; $\theta = 0,023$ м.

На рис. 3 показана расчетная зависимость \bar{r}_2 от \bar{h} при различных π_r .



Р и с. 2. Сравнение расчетного распределения (сплошная линия) с экспериментальным (Δ)



Р и с. 3. Зависимость относительного радиуса разделения вихрей \bar{r}_2 от относительной высоты сопла \bar{h} при различных степенях расширения подогретого потока: 1-3 соответствуют $\pi_r = 3, 4, 5$

Результатом данной работы является теоретическое определение профиля тангенциальной скорости на срезе соплового ввода и в свободном вихре в сечении, примыкающем к диафрагме ВТ.

Л и т е р а т у р а

И. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. - М.: Машиностроение, 1969, 183 с.

УДК 621.565.3

В.П.Алексеев, А.И.Азаров, П.Е.Кротов

ОБОБЩЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ С ВНУТРЕННИМ ОРЕБРЕНИЕМ КАМЕРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Разработка и исследование в ОТИХП неадиабатной ребристой ВТ имеет целью повышение эффективности вихревого процесса путем уменьшения необратимости теплосъема с периферии вихревого потока. Это достигается благодаря большим коэффициентам оребрения как внутренней, так и наружной поверхности камеры энергетического разделения.

Известно несколько модификаций ВТ с внутренним оребрением горячего конца (а.с. № 435419, 456118, 479684, 567906). У наиболее простых и технологичных устройств этого типа горячий конец выполнен в виде пакета плоских пластин-ребер, изготовленных из теплопроводного материала, и чередующихся с ними кольцевых прокладок. Участки пластин, охватываемые прокладками, образуют внутреннее оребрение, а участки, находящиеся вне прокладок, - внешнее оребрение камеры энергетического разделения. Эффективный теплосъем с периферии вихревого потока способствует росту полезной холодопроизводительности таких ВТ [3].

Цель работы состояла в исследовании влияния жидкостного охлаждения на температурно-энергетические характеристики ребристой ВТ диаметром 10 мм, длиной заглушенной камеры энергетического разделения 120 мм и длиной начального конического неоребреного участка 30 мм (угол конусности 3°). В ребрах были выполнены по 5 отверстий диаметром 12 мм. Совокупность соосных вихревой камер центральных отверстий образует основную зону камеры энергетического разделения, остальные отверстия выполнены для ликвидации