

3. Предложенная методика позволяет более широко внедрять вихревые аппараты в авиационной технике и народном хозяйстве.

Л и т е р а т у р а

1. З а й ч е н к о Е.И., А б о л т и н Э.В. Особенности измерения параметров потока цилиндрическим зондом в безлопаточном диффузоре малоразмерного центробежного компрессора. "Энергомашиностроение", № 2, 1973.

2. М е р к у л о в А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М., "Машиностроение", 1965.

В.А. Ниязов, Л.П. Мыльцев

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАКРУТКИ ПОТОКА НА РАСХОДНЫЕ И ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ

В ряде практически важных задач по созданию тепловых аппаратов остро стоит вопрос об ограничении их линейных габаритов. Единственный способ уменьшения габаритов - применение принципа вихревого сгорания топлива.

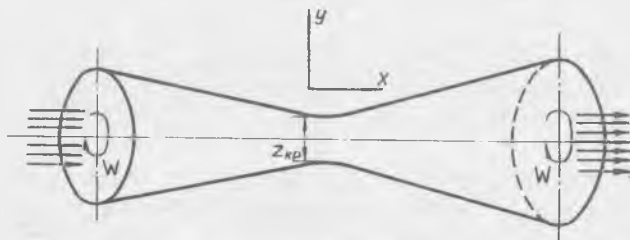
Аэродинамическая структура потока в стационарных аппаратах тепловой энергетики в настоящее время изучена достаточно полно. Данная же работа посвящена исследованию таких аппаратов, в которых на выходе скорость газа достигает или превосходит скорость звука.

Ранее в работе [1] были описаны полученные для невязкого течения газа дифференциальные уравнения первого порядка с целью определения функции тока $\psi(z)$ и числа Маха. Задача была решена для осесимметричного одномерного течения совершенного газа (рис.1).

Система уравнений для этого случая имеет вид:

$$\frac{dMa}{dt} = \frac{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2}{\kappa Ma \rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2}{Ma (1 - \frac{t^2}{\alpha^2})} \left[\frac{2}{\kappa-1} \frac{c \ell^{-c y}}{1 - \ell^{-c y}} \frac{dy}{dt} + \frac{Ma^2}{(1)} \right]$$
$$\frac{d\psi}{dt} = 2Mat \frac{F_a}{F_{kp}} \frac{a_0}{a_0} \frac{\rho_0}{\rho_0} \left[\frac{1 - \frac{\alpha^2}{t^2}}{1 + \frac{\kappa-1}{2} Ma^2} \right]^{\frac{\kappa-1}{2}}$$

где $\varphi = \frac{\psi}{\kappa \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{2(\kappa-1)}} \pi z_a^2 \frac{D_0}{a_0}}$ — безразмерная функция тока;
 $t = \frac{z}{z_a}$ — безразмерный радиус;
 ρ — плотность газа;
 U — скорость вдоль трубки тока;
 W — скорость закрутки;
 z — радиус трубки тока;
 Δz — толщина трубки тока;
 p — давление;
 α^* — параметр закрутки в критическом сечении сопла.



Р и с. I. Схема осесимметричного течения с закруткой

Начальные условия: $D_0 = D_0(\varphi)$; $a_0 = a_0(\varphi)$;

граничные условия: $\varphi(0) = 0$; $\varphi(1) = \varphi_{кр}$,

где $\varphi_{кр}(1)$ — значение функции тока в критическом сечении сопла.

Система дифференциальных уравнений (I) в диапазоне изменения $\alpha^* = 0-0,8$ была решена на ЭВМ методом Рунге-Кутты для различных значений параметра "С". Параметр "С" входит в закон изменения циркуляции по радиусу и играет роль числа Рейнольдса при переходе циркуляции от постоянного значения во внешнем потенциальном течении к нулю на оси.

Выражение для расчета основного параметра вихревой камеры — тяги сопла (в безразмерном виде), т.е. отнесенное к тяге такого же сопла при циркуляции $\Gamma=0$, примет вид

$$R = \frac{\left(1 + \frac{\kappa - 1}{2}\right)}{1 + \kappa M^2} \cdot 2 \int_0^1 \left[\frac{1 - \frac{\alpha^2}{2}}{1 + \frac{\kappa - 1}{2} M a^2} \right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} \cdot \quad (2)$$

Тогда безразмерную величину удельного импульса можно определить по формуле

$$\bar{R}_{y\phi} = \bar{R} / \psi(1) \cdot \quad (3)$$

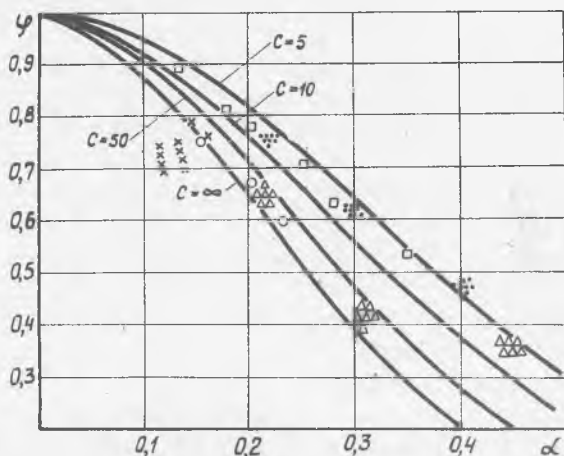
В системе дифференциальных уравнений (1) и формулах (2) и (3) Ma и Me осевая и тангенциальная составляющие числа Маха. Для проверки допущений, принятых при решении системы (1) и формул (2) и (3) были проведены на воздухе и горячем газе эксперименты на модели, близкой к натурной. Закрутка потока создавалась направляющим аппаратом, имеющим лопатки, расположенные под углом 45° к оси камеры (размер лопаток $0,1 d_\kappa$). В экспериментах проводились замеры расхода тяги, создаваемой моделью. Результаты экспериментов, проведенных при различных значениях параметра закрутки α^* , обработанные в координатах $\psi = \psi(\alpha^*)$, $\bar{R}_{y\phi} = \bar{R}(\alpha^*)$ приведены на рис.2 и рис.3.

На рис.2 нанесены теоретические зависимости безразмерной функции тока от параметра закрутки в критическом сечении сопла. Увеличение параметра "С" физически соответствует приближению течения к потенциальному (т.е. к уменьшению зоны, близкой к квазитвердому вращательному движению).

На этом рисунке показаны результаты продувок сопла на холодном воздухе, выполненных авторами. Здесь же нанесены результаты продувок по данным других авторов [3]. Проведенные экспериментальные исследования показали, что в диапазоне измерения $\alpha^* = 0,1 - 0,4$ эксперименты удовлетворительно описываются дифференциальными уравнениями [1]. При увеличении α^* наблюдается резкое отличие экспериментальных и теоретических данных, что объясняется, видимо, влиянием вязкости.

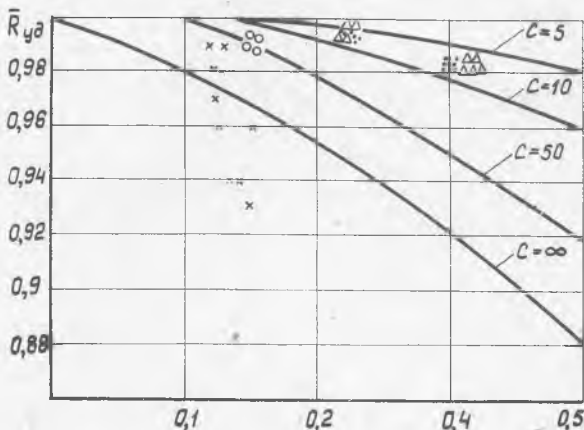
Эксперименты позволяют утверждать, что при соотношении длины модели к ее диаметру $l/d \geq 1,5$ совпадение с теоретическими расчетами наблюдается при $C < 10$. В случае же $l/d < 1$ результаты совпадают при $C > 50$.

Особый интерес представляют данные продувок сопла на высоко-температурном газе ($T > 1500^\circ\text{C}$). Эти исследования проводились на модели $l/d < 1$. Заметно некоторое отклонение результатов от теоретических зависимостей, т.е. в случае исследования на высокотемпе-



Р и с. 2. Экспериментальные и расчетные зависимости $\varphi = f(\alpha^\circ)$

□ - данные А.А. Осипова и Н.И. Славянова;
 x - экспериментальные данные на горячем газе;
 x, o, Δ - данные авторов; o - данные Фларзини и Батсона



Р и с. 3. Экспериментальные и расчетные зависимости $R_{\varphi\delta} = f(\alpha^\circ)$

o, Δ, x - данные авторов; x - экспериментальные данные на горячем газе; o - данные Фларзини и Батсона

ратурном газе расходные характеристики сопла меньше, чем для холодного газа

$$\psi_{гор} = m \psi_{хол}, \text{ где } m \approx 0,91.$$

На рис.3 представлены результаты определения удельного импульса сопла по формуле [3] для различных значений параметра "С". Видно, в диапазоне изменения $\alpha^* = 0,1-0,4$ потери удельной тяги холодного газа составляют не более 4%. Для высокотемпературного газа они несколько возрастают до величины 5 - 7%.

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании тепловых аппаратов, основанных на вихревом течении газа.

Л и т е р а т у р а

1. Мылъцев Л.П., Ниязов В.Я. О влиянии закрутки потока на работу сопла. Труды первой научно-технической конференции, Куйбышев, 1974.

2. Batsen, Sfozzini. *Swirling flow going through sonic nozzle.*, *Journal of Spacecraft and Rocket*, V7, 1970, №2.

Л.П. Мылъцев, В.Я. Ниязов

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ

Метод расчета камер сгорания, основанных на классическом осевом течении газа широко известен [1], [2]. Наличие закрутки потока накладывает ряд особенностей на расчет характеристик и геометрических размеров камер сгорания.

Рассмотрим схему, в которой полученный высокотемпературный газ закручивается в камере перед соплом. Как показывают теоретические расчеты и подтверждают эксперименты [3] увеличение параметра закрутки приводит к уменьшению длины камеры сгорания и улучшению процесса горения. С другой стороны,