

2. Довтик С.А., Картавенко В.М. Экспериментальное исследование влияния закрутки потока на эффективность кольцевых каналов выходных патрубков осевых турбомашин. - В сб.: Промышленная аэродинамика. - М.: Машиностроение, 1974, вып. 31.

УДК 532.527.004.14

Ш.А.Пиралишвили, Н.Н.Новиков

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВИХРЕВЫХ ТРУБ

При проектировании устройств на базе высокотемпературной ВТ (вихревых воспламенителей камеры сгорания двигателей летательных аппаратов, вихревых газовых горелок) необходимо знать их термодинамические характеристики при соответствующих температурах. С ростом температуры увеличивается степень диссоциации, вызываемые ею эффекты следует учитывать.

В настоящей работе исследуется вихревой эффект в диссоциирующей газовой смеси, подчиняющейся уравнению состояния [2]

$$p = \rho RT,$$

где $R(p, T) = \text{var}$.

Показатели изотермы, изоэнтропы являются функциями температуры и давления:

$$\kappa = \frac{p}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial p} \right)_{s} = m \frac{C_p}{C_v} \quad - \text{показатель изоэнтропы;}$$

$$m = \frac{p}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial p} \right)_{T} \quad - \text{показатель изотермы;}$$

$$\beta = \frac{p}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial p} \right)_{u} = \sqrt{\frac{\kappa - m}{C_v} \frac{pU}{T}} \quad - \text{показатель процесса при постоянной внутренней энергии.}$$

В расчетах использованы газодинамические функции изоэнтропических течений диссоциированных газов, имеющих постоянные показатели κ , β [2], отличающиеся от выражений для совершенного газа отношением температур:

$$\frac{T^*}{T} = \left(1 + \frac{\kappa - 1}{2} M^2 \right)^{\frac{\kappa - \beta}{\kappa - 1}}.$$

Согласно гипотезе взаимодействия вихрей, после формирования свободного и вынужденного вихрей радиальные скорости пренебрежимо малы $V_r = 0$, а осевые скорости в свободном вихре в сопловом сечении значительно меньше окружных $V_z \ll V_\varphi$. После завершения процесса энергообмена в сопловом сечении определим предельно возможные энергетические уровни вихрей. Воспользуемся независимостью движения по осям цилиндрических координат. Распределение параметров (V , ρ , p , T , R , i) в плоском круговом потоке определится уравнениями

$$\text{движения } \frac{V_\varphi^2}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr}, \quad \frac{d^2 V_\varphi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV_\varphi}{dr} - \frac{V_\varphi}{r} = 0;$$

$$\text{изоэнтропы } \frac{p}{\rho^\kappa} = \frac{p}{T^{\kappa/\kappa-\beta}} = \frac{p}{R^{\kappa/\beta-1}} = \text{const};$$

$$\text{состояния } \frac{dp}{p} - m \frac{d\rho}{\rho} - \frac{\kappa-m}{\kappa-\beta} \frac{dT}{T} = 0$$

$$\text{и граничными условиями: } r=0, V_\varphi=0; \quad r=r_2, V_\varphi=V_{\varphi 2},$$

где r - текущий радиус; r_2 - радиус разделения вихрей.

Решая данную систему уравнений, получим формулу расчета относительно расхода холодного потока

$$\mu = \frac{G_x}{G_1} = \left(\frac{2}{\kappa-1} \right)^{0.5} \frac{2}{F_c M_1} (C^{\kappa-1} \varphi_1 - \varphi_2).$$

Привлекая уравнения сохранения (энергии, импульса и массы)

$$1 + \mu' = \mu + \frac{G_r}{G_1};$$

$$i_1^* + \mu' i_2^* = \mu i_x^* + (1 + \mu' - \mu) i_r^*;$$

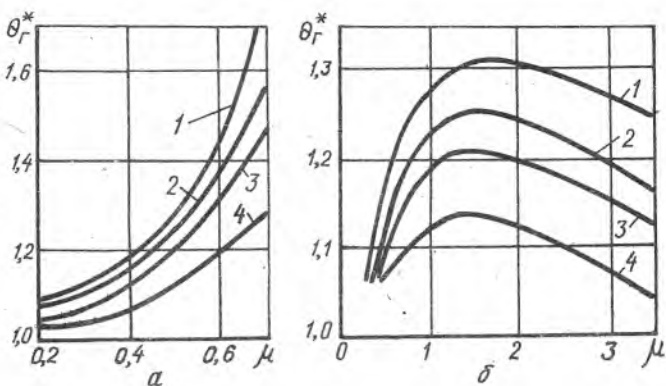
$$J_1(0) = J_x(0), \quad J_r(\ell) = J_2(\ell) = 0,$$

где i^* - полная энтальпия; J - импульс; $\mu' = \frac{G_x}{G_1}$ - относительный расход дополнительного потока, найдем расчетные выражения среднемассовой безразмерной энтальпии охлажденного

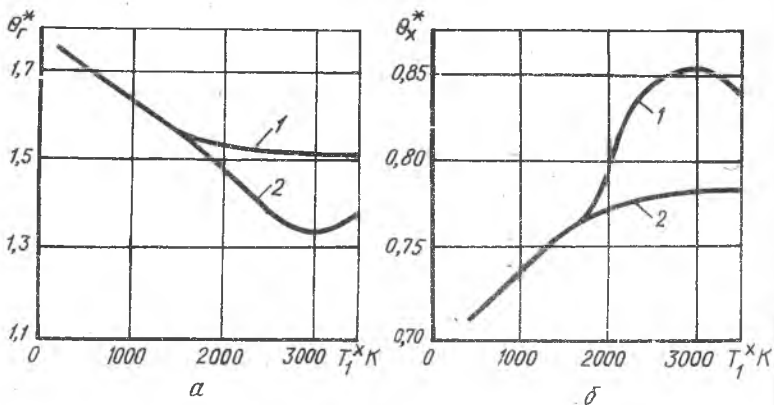
$$\theta_x^* = \frac{i_x^*}{i_1^*} = \frac{1}{1 + \frac{\kappa-1}{2} M_1^2} \frac{C^{\frac{1}{\kappa-1}} \varphi_3 - \varphi_4}{C^{\frac{1}{\kappa-1}} \varphi_1 - \varphi_2}$$

и подогретого потоков

$$\theta_r^* = \frac{i_r^*}{i_1^*} = \frac{1 + \mu' \theta_2^* - \mu \theta_x^*}{1 + \mu' - \mu},$$



Р и с. 1. Зависимость эффектов нагрева от относительного расхода охлажденного потока: а) противоточная ВТ; б) двухконтурная ВТ. 1) $T_1^* = 300\text{K}$; 2) $T_1^* = 1000\text{K}$; 3) $T_1^* = 3000\text{K}$; $\beta = m = 1$; 4) $T_1^* = 3000\text{K}$



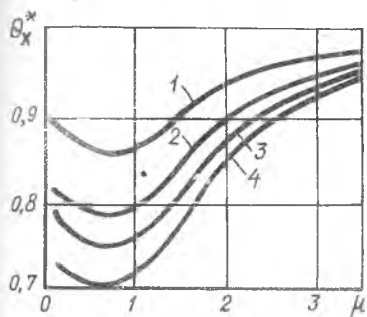
Р и с. 2. Зависимость эффектов нагрева (а) и охлаждения (б) от температуры сжатого газа: 1) $\beta = m = 1$; 2) $\beta \neq m \neq 1$

где индексы соответствуют: x - охлажденному, а r - подогретому потокам, I - параметрам газа на входе в сопловой ввод, g - дополнительному потоку, h - атмосферному воздуху; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - комплексы, получаемые при интегрировании:

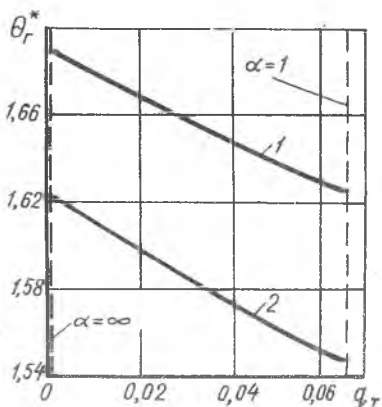
$$C = \left(\frac{1}{T_{1x}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, T_{1x} = \frac{P_1}{\rho_H}$$

Расчет характеристик высокотемпературных ВТ производился на ЭВМ Наир-2. В качестве рабочего тела использовались продукты сгорания керосина в воздухе. Для сравнения просчитаны характеристики недиссоциирующего совершенного газа. Расчет проведен при $P_1^* = 0,5$ МПа; $F_c = 0,08$; $F_g = 0,5$; $\alpha = 1,1$.

Результаты расчетов приведены в виде графических зависимостей (рис. 1-4) с учетом влияния режимных, геометрических параметров как для ВТ обычной схемы, так и для труб с дополнительным потоком.



Р и с. 3. Зависимость эффектов охлаждения от относительного расхода охлажденного потока: 1) $T_1^* = 3000\text{K}$; 2) $T_1^* = 3000\text{K}$; $\beta = m = 1$; 3) $T_1^* = 1000\text{K}$; 4) $T_1^* = 300\text{K}$



Р и с. 4. Зависимость эффектов нагрева от относительного расхода топлива: 1) $T_1^* = 2000\text{K}$; 2) $T_1^* = 1000\text{K}$

С изменением температуры изменяются и теплофизические параметры рабочего тела - продуктов керосина в воздухе. Показатель адиабаты κ снижается, а R - возрастает в диапазоне температур до 2600K. Характер изменения приведенных величин и имеющая место при температурах свыше 1700K диссоциация являются причинами изменения эф-

фактов подогрева (рис. 2,а) и охлаждения (рис. 2,б). Диссоциация с соответствующим изменением величин K и R может снижать эффекты подогрева и охлаждения на 12%. Существенное влияние на названные эффекты оказывает и состав газовой смеси. Так, использование в качестве рабочего тела продуктов сгорания керосина в воздухе вместо чистого воздуха снижает названные эффекты на 2-5%.

Л и т е р а т у р а

1. П и р а л и ш в и л и Ш.А. Теоретическое и экспериментальное исследование вихревой трубы с дополнительным потоком. - Дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. Куйбышев: КуАИ, 1971.
2. Д о б р о д е е в В.П. Исследование термодинамики течений реальных газов. - Дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. Рига: РИИГА, 1971.

УДК 532.527

Л.М.Дыскин, П.Т.Крамаренко

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЭНЕРГИИ В ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ ГАЗА

Гипотеза взаимодействия вихрей, выдвинутая А.П.Меркуловым [1], является в настоящее время основной для анализа вихревого эффекта. Согласно этой гипотезе в сечении соплового ввода ВТ температура распределяется по радиусу адиабатно за счет турбулентности закрученного потока.

Хаотические молекулярные движения приводят к равномерному распределению молекул по объему газа. Под действием на объем газа центробежных сил в случае отсутствия теплового движения молекул последние уносились бы от центра, собираясь тонким слоем на периферии вихря. Но в результате существования теплового движения молекулы распределяются по всему сечению вихря. Соответственно этому устанавливается и определенный закон изменения давления по радиусу вихря.

Радиальное распределение молекул зависит от величины ускорения α центробежного поля и пути, пройденного молекулой под действием этого ускорения.