

Анализ величин δG_T и δN_e в рассмотренных вариантах расчета показывает, что поправочные коэффициенты к формулам приведения для одних и тех же параметров ТВД могут существенно отличаться друг от друга по величине в зависимости от выбираемых условий подобия и от уровня параметров рабочего процесса ТВД (T_r^* , π_k).

Однако, если нагрузочные характеристики приводить к САУ по формулам с поправочными коэффициентами, соответствующими любому из рассмотренных условий подобия, то эти характеристики совпадают (рис. 2).

При проведении результатов испытаний к САУ это обстоятельство позволяет использовать ту группу поправочных коэффициентов, учитывающих изменение c_p , которая наиболее целесообразна при обработке экспериментов. Очевидно, что для ТВД предпочтительней поправочные коэффициенты, относящиеся к третьему варианту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стечкин Б. С. и др. Теория реактивных двигателей. М., Оборонгиз, 1958.
2. Бопдарева З. З. и др. Статистический метод адекватности формул приведения параметров ГТД. В сб. «Труды Уфимского авиационного института». Вып. XVII. Уфа, УАИ, 1970.
3. Корж Н. Д., Ронзин В. Д. и Кулагин В. В. Уточнение формул приведения к САУ основных параметров двигателя Д-20П для стендовых условий работы. В сб.: «Некоторые особенности обработки конструкции и параметров авиационных газотурбинных двигателей». Материалы научно-технической конференции. Пермь, ППИ, 1967.
4. Дорофеев В. М. и др. Термогазодинамический расчет газотурбинных силовых установок. М., «Машиностроение», 1973.

Е. Д. Стенькин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИ ДВУХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

p — давление, $\frac{H}{M^2}$;

$\frac{p}{p_0}$ — относительное давление;

$\frac{p}{p_{\Sigma}}$ — отношение полных давлений смешиваемых потоков;

p_{Σ} — относительное полное давление смешанного потока;

T — температура, $^{\circ}K$;

Θ — отношение полных температур смешиваемых потоков;

i — удельная энтальпия, $\frac{дж}{кг}$;

π — термодинамическая функция (относительное давление);

k — показатель изоэнтропы;

R — газовая постоянная, $\frac{дж}{кг \cdot град}$;

λ — приведенная скорость;

α — коэффициент избытка воздуха;

m — массовый расход, $\frac{кг}{сек}$;

y — отношение массовых расходов смешиваемых потоков;

F — площадь поперечного сечения потока, $м^2$;

Φ — полный секундный импульс;

C — скорость, $\frac{м}{сек}$;

$\pi(\lambda)$, $z(\lambda)$, $\tau(\lambda)$; $f(\lambda)$ — газодинамические функции приведенной скорости.

ИНДЕКСЫ

- * — полный;
- (1) — первое приближение;
- I — первый поток;
- II — второй поток;
- Σ — смешанный поток.

В технике часто встречаются задачи по определению параметров смеси газовых потоков с различными начальными полными давлениями и температурами. В современных методах расчета параметров смешанного потока используются средние значения показателей адиабаты исходных потоков. Например, в работе [1] пренебрегается различием в теплоемкостях смешивающихся газов и смеси. Это допущение в силу однозначности связи между теплоемкостью и показателем адиабаты означает и пренебрежение различием между показателями адиабаты.

Процесс смешения двух потоков с различными температурами происходит с изменением температур и с соответствующим изменением теплоемкостей. При этом разница между начальными температурами может быть значительной. Например, в двухконтурном турбореактивном двигателе отношение полной температуры наружного потока к полной температуре основного потока на входе в камеру смешения может составлять $\Theta = 0,3 \div 0,5$.

Таким образом, возникает необходимость учитывать как различие теплоемкостей исходных потоков, так и изменение теплоемкости с изменением температуры.

В данной работе предлагается метод такого учета с применением номограмм π , i -функций, приведенных в работе [2].

Рассматривается смешение потоков в цилиндрической камере.

При определении параметров смеси будем считать известными следующие начальные параметры газовых потоков:

полные температуры;

отношение полных давлений;

отношение статического давления к полному в одном из потоков;

отношение массовых расходов.

Установим необходимые соотношения для определения давления смеси. Для этого используем уравнение полных импульсов и уравнение расхода

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_I + \Phi_{II}; \quad (1)$$

$$m = pF \frac{C}{RT}. \quad (2)$$

Принимая во внимание выражение (2), получаем для импульса соотношение

$$\Phi = m \left(C + \frac{RT}{C} \right). \quad (3)$$

Учитывая выражение для суммарного массового расхода

$$m_{\Sigma} = m_I + m_{II},$$

соотношение (1) с использованием формулы (3) приводим к виду

$$C_{\Sigma} + \frac{R_{\Sigma} T_{\Sigma}}{C_{\Sigma}} = \frac{1}{1+y} \left(C_I + \frac{R_I T_I}{C_I} \right) + \frac{y}{1+y} \left(C_{II} + \frac{R_{II} T_{II}}{C_{II}} \right). \quad (4)$$

Цилиндрическая камера смешения имеет площадь

$$F_{\Sigma} = F_I + F_{II}.$$

Это условие после преобразований с применением равенства (2) приводится к соотношению

$$\frac{R_{\Sigma} T_{\Sigma}}{p_{\Sigma} C_{\Sigma}} = \frac{R_I T_I}{p C_I} \cdot \frac{1}{1+y} + \frac{R_{II} T_{II}}{p C_{II}} \cdot \frac{y}{1+y}. \quad (5)$$

Если обозначить

$$\bar{F}_I = \frac{1}{1+y} \cdot \frac{R_I T_I}{p_I C_I}; \quad \bar{F}_{II} = \frac{y}{1+y} \cdot \frac{R_{II} T_{II}}{p_I C_{II}}; \quad \bar{F}_{\Sigma} = \bar{F}_I + \bar{F}_{II}, \quad (6)$$

то из уравнения (5) после введения обозначений (6) и преобразований можно определить искомое выражение для относительного полного давления смешанного потока

$$\bar{p}_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma} T_{\Sigma}}{F_{\Sigma} C_{\Sigma}} \cdot \frac{\pi_{\Sigma}^*}{\bar{\pi}_{\Sigma}}. \quad (7)$$

При выводе выражения (7) нами было использовано из работы [2] соотношение между давлением и π -функциями:

$$\bar{p} = \frac{p}{p^*} = \frac{\pi}{\pi^*}.$$

Для расчета в качестве одной из исходных величин, характеризующих течение на входе в камеру смешения, задаем относительное давление

$$\bar{p}_I = \frac{p}{p_I^*}.$$

Используя рассмотренные соотношения, получаем следующий порядок вычисления параметров смешанного потока с учетом зависимости теплоемкости газа от его температуры.

Статические параметры I потока

1. Определяем π -функцию.

$$\pi_I = \bar{p}_I \pi_I^*.$$

2. Зная коэффициент избытка воздуха α_I и величину π_I , по работе [2] определяем величины i_I и T_I .

3. Вычисляем скорость

$$C_I = \sqrt{2(i_I^* - i_I)}.$$

Если величина i измеряется в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, как и в работе [2], то скорость

$$C_I = 91,53 \sqrt{i_I^* - i_I}.$$

4. Определяем относительный полный импульс

$$\bar{\Phi}_I = \frac{1}{1+y} \left(C_I + \frac{R_I T_I}{C_I} \right).$$

5. Находим относительную площадь

$$\bar{F}_I = \frac{1}{1+y} \cdot \frac{R_I T_I}{p_I C_I}.$$

Статические параметры II потока

6. Определяем π -функцию

$$\pi_{II} = \frac{p_I}{p} \pi_{II}^*.$$

7. По величинам α_{II} и π_{II} с помощью номограмм [2] определяем значения i_{II} и T_{II} [2].

8. Вычисляем скорость

$$C_{II} = \sqrt{2(i_{II}^* - i_{II})}.$$

Если величина i выражена в $\frac{\text{ккал}}{\text{кгс}}$, то скорость

$$C_{II} = 91,53 \sqrt{i_{II}^* - i_{II}}.$$

9. Вычисляем относительный полный импульс

$$\bar{\Phi}_{II} = \frac{y}{1+y} \left(C_{II} + \frac{R_{II} T_{II}}{C_{II}} \right).$$

10. Определяем относительную площадь

$$\bar{F}_{II} = \frac{y}{1+y} \cdot \frac{R_{II} T_{II}}{P_1 C_{II}}.$$

Статические и полные параметры смешанного потока

11. Рассчитываем полный импульс

$$\bar{\Phi}_{\Sigma} = \bar{\Phi}_I + \bar{\Phi}_{II}.$$

12. Вычисляем суммарный коэффициент избытка воздуха

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{1+y}{\frac{1}{\alpha_I} + \frac{y}{\alpha_{II}}}.$$

13. Определяем газовую постоянную

$$R_{\Sigma} = \frac{R_I + y R_{II}}{1+y}.$$

14. Находим полную энтальпию

$$i_{\Sigma}^* = \frac{i_I^* + y i_{II}^*}{1+y}.$$

15. С помощью номограмм [2] по значениям α_{Σ} и i_{Σ}^* определяем величины T_{Σ}^* и π_{Σ}^* .

16. Рассчитываем суммарную площадь

$$\bar{F}_{\Sigma} = \bar{F}_I + \bar{F}_{II}.$$

17. Задаемся значением температуры в первом приближении T_{Σ}' . Например, принимаем $T_{\Sigma}' = T_{\Sigma}^*$.

18. Определяем скорость смешанного потока, используя преобразованное выражение (4)

$$C_{\Sigma} = \frac{\bar{\Phi}_{\Sigma}}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 R_{\Sigma} T_{\Sigma}}{\bar{\Phi}_{\Sigma}^2}} \right).$$

19. Определяем суммарную энтальпию

$$i_{\Sigma} = i_{\Sigma}^* - \frac{C_{\Sigma}^2}{2}.$$

Расчет параметров погоды при переменной теплоемкости ($\gamma = 4$; $\theta = 0,4$)

Относительное давление, p_1	Поток	Параметры											
		α	T^*	i^*	π^*	R	\bar{p}	π	i	T	C	$\bar{\Phi}$	\bar{F}
0,9	I	4	1000	254,7	126,32	288	1	113,69	247,58	974,6	244	279	256
	II	∞	400	95,8	3,81	287	1,1	3,12	90,45	377,9	211,4	580	456
0,95	смешанный		16	530	127,58	10,42	287	1,063	8,75	121,28	228	859	712
	I	4	1000	254,7	126,32	288	1	120,01	251,01	987,6	170,8	367	350,5
	II	∞	400	95,8	3,81	287	1,3	2,785	87,55	355,8	262,7	530	337
	смешанный		16	530	127,58	10,42	287	1,163	8,926	122,17	508,1	213	897

Таблица 2

Расчет с постоянной теплоемкости ($\gamma = 4$; $\theta = 0,4$)

Относительное давление, p_1	Поток	Параметры									
		k	$\pi(\lambda)$	λ	$\alpha(\lambda)$	$\tau(\lambda)$	$f(\lambda)$	\bar{p}	T^*	C	
0,9	I	1,33	0,9	0,427	1,384	0,9741	1,0922	1	1000	—	
	II	1,4	0,818	0,578	1,154	0,9443	1,1561	1,1	400	—	
0,95	смешанный		1,385	—	0,56	1,173	0,9539	1,148	1,053	530,4	236
	I	1,33	0,95	0,299	1,8217	0,9874	1,0482	1	1000	—	
	II	1,4	0,73	0,718	1,0554	0,9141	1,2107	1,3	400	—	
	смешанный		1,385	—	0,518	1,224	0,967	1,131	1,153	530,4	191

Если величина i выражена в $\frac{ккал}{кгс}$, то энтальпия — $кгс$

$$i_{\Sigma} = i_{\Sigma}^* - \left(\frac{C_{\Sigma}}{91,53} \right)^2.$$

20. По величинам i_{Σ} и α_{Σ} с помощью номограмм [2] определяем T_{Σ} .

21. Если значение T_{Σ} , полученное в п. 20, отличается от значения этого параметра, принятого в п. 17, на величину погрешности более допустимой, то со значением T_{Σ} , полученной в п. 20, расчет повторяется, начиная с п. 18, до тех пор, пока разница между величинами T_{Σ} в двух последовательных приближениях станет равной или меньше допустимой погрешности.

22. С помощью номограмм по величинам α_{Σ} и T_{Σ} определяем функцию π_{Σ} и вычисляем относительное полное давление смешанного потока p_{Σ} по соотношению (7) [2].

Для определения количественного влияния допущения о постоянстве теплоемкостей на полное давление смешанного потока выполнен расчет с использованием разработанного метода. В табл. 1, 2 приводятся результаты расчета в двух вариантах: с переменной и постоянной теплоемкостью.

Во 2-м варианте расчет выполняется с помощью таблиц газодинамических функций и соотношений, приведенных в работе [3] для случая $\kappa_I \neq \kappa_{II}$. Сравнение полученных давлений показывает, что в примере с близкими полными давлениями исходных потоков ($p = 1,1$) в 1-м варианте давление смеси на 1% выше, чем во 2-м. В примере со значительной разницей между давлениями p^* в потоках ($p = 1,3$) в 1-м варианте давление смеси на 0,9% выше, чем во 2-м.

Эти примеры показывают, что при расчете смешения потоков необходимо учитывать изменение теплоемкости вследствие изменения температуры.

В настоящее время для расчетов применяют электронно-вычислительные машины, поэтому некоторая сложность и громоздкость данного метода по сравнению с методом, основанным на применении газодинамических функций, не будет препятствием для уточнения расчета параметров смешанного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М., «Наука», 1969.
2. Дорофеев В. М. Термодинамический расчет воздушно-реактивных двигателей с помощью диаграмм π , i -функций. Учебное пособие. Куйбышев, КуАИ, 1968.
3. Стенькин Е. Д. Оптимальное соотношение полных давлений в камере смешения ДТРД. «Авиационная техника», 1963, № 1.