УДК 629.124.74

А.А. ТАРАСЕНКО

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина

ЧАСТИЧНЫЕ РЕЖИМЫ УСТРОЙСТВ ТИПА ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В СУДОВЫХ ГТД

Рассматривается характеристика устройства типа газодинамическое сопротивление на частичных режимах. Получена зависимость коэффициента восстановления полного давления от относительного обобщенного расхода и параметра λ на номинальном режиме. Предложен способ представления характеристики устройства типа газодинамическое сопротивление в виде зависимости обобщенного относительного расхода на входе в устройство и выходе из него. Также предложен алгоритм расчета этой характеристики. Приведены результаты расчета характеристик на ЭВМ, полученные в виде графиков. Эти графики носят универсальный характер и могут быть применены для дозвуковых режимов роботы при расчетах коэффициентов восстановления полного давления

коэффициент восстановления полного давления, расход, характеристика

Введение

При расчетах параметров газотурбинных двигателей на частичных режимах важно определить потери давления по тракту двигателя. Особенно это важно в режиме запуска, работы в режиме сопровождения стартером и анализе состояний типа «горячее зависание».

1. Формулирование проблемы

Необходимо определить коэффициент восстановления полного давления устройств типа газодинамическое сопротивление в судовых ГТД в зависимости от параметров номинального режима и обобщенного параметра расхода [1].

1.1. Общие соотношения. В экспериментальной газодинамике потери полного давления оцениваются по формуле [2]:

$$\Delta P^* = P_1^* - P_2^* = \xi \cdot \frac{\rho_1 \cdot V_1^2}{2}, \qquad (1)$$

где ΔP^* – потери давления в устройстве;

P_1^* – полное давление на входе в устройство;

P_2^* – полное давление на выходе из устройства;

ξ – коэффициент потерь в устройстве;

ρ_1 – плотность газа на входе в устройство;

V_1 – скорость газа на входе в устройство.

Часто потери оценивают коэффициентом восстановления полного давления:

$$\nu = P_2^* \big/ P_1^* .$$

Учитывая (1), запишем:

$$\nu = P_2^* \big/ P_1^* = 1 - \xi \cdot \frac{\rho_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot P_1^*} . \qquad (2)$$

Учитывая, что расход газа $G = \rho_1 \cdot V_1 \cdot F$, где F – площадь сечения, выражение (2) можно записать в следующем виде:

$$1 - \nu = \xi \cdot \frac{G \cdot V_1}{2 \cdot F \cdot P_1^*} = \frac{G \cdot \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} \cdot \frac{\xi \cdot V_1}{2 \cdot F \cdot \sqrt{T_1^*}} . \qquad (3)$$

Применяя теорию подобия, оперируют упомянутым выше обобщенным расходом газа:

$$G_{об} = \frac{G \cdot \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} . \qquad (4)$$

Тогда уравнение (3) будет выглядеть следующим образом:

$$1 - \nu = G_{об} \cdot \frac{\xi \cdot V_1}{2 \cdot F \cdot \sqrt{T_1^*}} .$$

Умножив и разделив правую часть этого выражения на плотность, получим:

$$1-\nu = G_{об} \cdot \xi \cdot \frac{V_1 \cdot \rho_1}{2 \cdot \frac{P_1}{R\,T_1} \cdot F \cdot \sqrt{T_1^*}}.$$

В этой формуле учтено, что $\rho_1 = \frac{P_1}{R\,T_1}$.

После преобразований получим

$$1-\nu = \xi \cdot G_{об} \cdot \frac{G}{2 \cdot \frac{P_1^* \cdot \pi(\lambda)}{R \cdot T_1^* \cdot \tau(\lambda)} \cdot F^2 \cdot \sqrt{T_1^*}}$$

или $$1-\nu = \xi \cdot G_{об} \cdot \frac{G \cdot \sqrt{T_1^*}}{P_1^*} \cdot \frac{R \cdot \tau(\lambda)}{2 \cdot F^2 \cdot \pi(\lambda)}.$$

В этих выражениях $\pi(\lambda)$ и $\tau(\lambda)$ – газодинамические функции. Учитывая (4), запишем последнее выражение в виде:

$$1-\nu = \xi \cdot G_{об}^2 \cdot \frac{R \cdot \tau(\lambda)}{2 \cdot F^2 \cdot \pi(\lambda)}. \quad (5)$$

Выражение аналогичное (5) можно записать для номинального режима. Тогда:

$$\frac{1-\nu}{1-\nu_н} = \frac{G_{об}^2 \cdot \frac{\tau(\lambda)}{\pi(\lambda)}}{G_{об\,н}^2 \cdot \frac{\tau(\lambda_н)}{\pi(\lambda_н)}}$$

или, обозначив $\overline{G} = \frac{G_{об}}{G_{об\,н}}$ и $k\_G = \frac{1-\nu}{1-\nu_н}$, получим

$$k\_G = \frac{1-\nu}{1-\nu_н} = \overline{G}^2 \cdot \frac{\tau(\lambda) \cdot \pi(\lambda_н)}{\tau(\lambda_н) \cdot \pi(\lambda)}.$$

Обозначив

$$k\_Ln = \frac{\tau(\lambda) \cdot \pi(\lambda_н)}{\tau(\lambda_н) \cdot \pi(\lambda)}, \quad (6)$$

запишем

$$k\_G = \frac{1-\nu}{1-\nu_н} = \overline{G}^2 \cdot k\_Ln. \quad (7)$$

После несложных преобразований получим

$$\nu = 1-(1-\nu_н) \cdot \overline{G}^2 \cdot \frac{\tau(\lambda) \cdot \pi(\lambda_н)}{\tau(\lambda_н) \cdot \pi(\lambda)}$$

или

$$\nu = 1-(1-\nu_н) \cdot \overline{G}^2 \cdot k\_Ln. \quad (8)$$

Учитывая (7), можно записать

$$\nu = 1-(1-\nu_н) \cdot k\_G.$$

На практике часто полагают $k\_Ln = 1$ и пользуются приближенной формулой:

$$\nu = 1-(1-\nu_н) \cdot \overline{G}^2.$$

Из определения газодинамической функции $q(\lambda)$ следует что, $\overline{G} = \frac{q(\lambda)}{q(\lambda_н)}$, тогда, зная $\lambda_н$, можно вначале определить $q(\lambda_н)$, а затем, зная $\overline{G}$, можно найти $q(\lambda) = \overline{G} \cdot q(\lambda_н)$.

2. Решение проблемы

Цель дальнейшего анализа – определить коэффициент $k\_Ln = k\_Ln(\overline{G}, \lambda_н)$. Обычно параметры номинального режима известны и в том числе $\lambda_н$, а относительный обобщенный расход $\overline{G}$ характеризует частичный режим. Эта зависимость может быть представлена в виде серии графиков для различных $\lambda_н$. Для дозвуковых режимов $\lambda_н$ лежит в диапазоне $0 \div 1$, в то время как $\overline{G}$ также изменяется в пределах $0 \div 1$.

Вычисление проводим в следующей последовательности:

1. Задаемся $\lambda_н$ в диапазоне $0 \div 1$.
2. Задаемся λ в диапазоне $\lambda_н \div 0$.
3. Вычисляем $q(\lambda)$ и $q(\lambda_н)$.
4. Вычисляем $\overline{G} = \frac{q(\lambda)}{q(\lambda_н)}$.
5. Определяем $k\_Ln = \frac{\tau(\lambda) \cdot \pi(\lambda_н)}{\tau(\lambda_н) \cdot \pi(\lambda)}$.
6. k_G и ν определяем согласно выражениям (7) и (8).

Результаты расчетов приведены на рис. 1.

На рис. 1 параметр G_{in} это $\overline{G} = \frac{G_{об}}{G_{об\,н}}$. Аналогичный параметр можно рассмотреть на выходе из устройства. Обозначим его через G_{ou}

$$G_{ou} = \frac{G \cdot \sqrt{T_1}}{P_2} \cdot \frac{P_{2н}}{G_н \cdot \sqrt{T_{1н}}} .$$

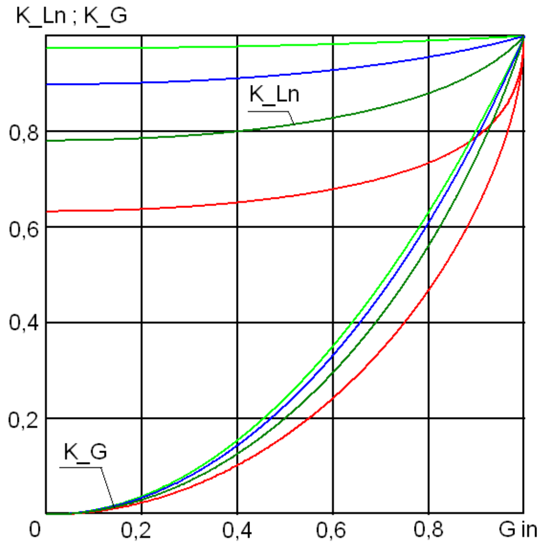

Рис. 1. Зависимости k_G и k_Ln
при $\lambda_н =$ 1,0; 0,75; 0,5 и 0,25

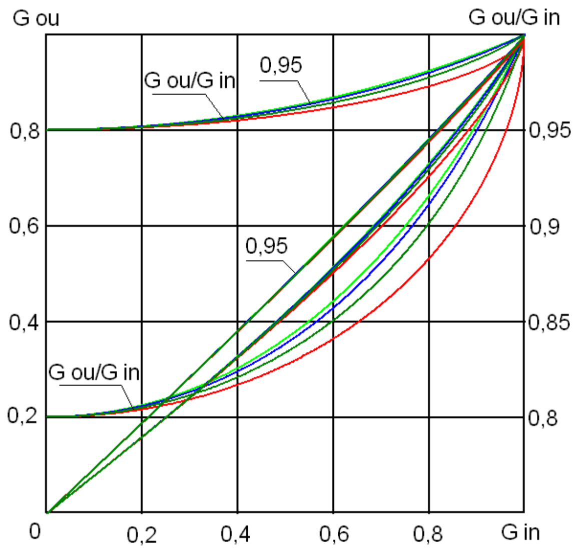

Рис. 2. Зависимости $G_{ou} - G_{in}$
для $\nu_н =$ 0,95 и 0,8 при $\lambda_н =$ 1,0; 0,75; 0,5 и 0,25

Учитывая $P_2 = P_1 \cdot \nu$ и $P_{2н} = P_{1н} \cdot \nu_н$, запишем

$$G_{ou} = \frac{\nu_н}{\nu} \cdot \frac{G \cdot \sqrt{T_1}}{P_1} \cdot \frac{P_{1н}}{G_н \cdot \sqrt{T_{1н}}} .$$

Учитывая (4), получим

$$\frac{G_{ou}}{G_{in}} = \frac{\nu_н}{\nu} . \qquad (9)$$

Из выражения (9) следует, что характеристика устройства может быть задана таблицей (графиком)

$$G_{ou} - G_{in}$$

или зависимостью

$$\frac{G_{ou}}{G_{in}} = \frac{\nu_н}{\nu} = f\left(G_{in}\right).$$

Эта зависимость может быть вычислена с помощью выражения (8) и использования графика рис. 1.

Следует отметить, что при $G_{in} = 0$ отношение (9) будет стремиться к $\nu_н$, что видно на рис. 2. Действительно $\nu = 1$ при $G_{in} = 0$.

Разработанная методика позволяет получить характеристику аналогичную рис. 2 для любого значения $\nu_н$ и $\lambda_н$, меньших 1.

Заключение

Можно сделать вывод о автомодельности относительно $\lambda_н$ для $\lambda_н < 0,5$, при этом характеристика устройства определена зависимостью $G_{ou} - G_{in}$.

Литература

1. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 304 с.
2. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Ч. I. – М.: Машиностроение, 1977. – 312 с.

Поступила в редакцию 27.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Р. Ткач, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев.