

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ТУРБОВЕНТИЛЯТОРА И ТУРБОКОМПРЕССОРА ГАЗОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРДД

Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Симонов Н.Б.

Уфимский университет науки и технологий, г.Уфа, krivosh777@mail.ru

Ключевые слова: турбовентилятор, турбокомпрессор, газогенератор, частота вращения, проточная часть, ступени, лопаточные венцы, осевые скорости, работы, диаграммы Смита.

Для выбора основных параметров турбовентилятора и турбокомпрессора газогенератора (ГГ) при проектировании ТРДД авторами в [1-3] предложена оригинальная методика. Она позволяет сократить число итераций и основана на использовании следующих постулатов.

1) Осевая скорость $c_{ав}$ на входе в вентилятор (или КНД) определяется с учётом лобовой производительности $\bar{G}=200\dots170\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ при заданном ограничении наружного диаметра D_k рабочего колеса (РК) на входе в вентилятор и относительного диаметра втулки \bar{d} . При этом мидель $F_m=(\pi/4)D_k^2$, а площадь входа $F_v=(\pi/4)D_k^2(1-\bar{d}^2)$. С учётом этого определяется функция плотности тока $q(\lambda_v)$ и приведенная скорость λ_v на входе в вентилятор. Аналогичным образом определяются параметры на входе в КВД с использованием приведенной лобовой производительности $\bar{G}_{пр}=200\dots170\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Кроме того осевая скорость на входе в КС определяется из условия $c_k=140\dots110\text{м}/\text{с}$. Осевая скорость на входе в КВД может быть также определена с учётом теплоперепадов в компрессорах $c_{кнд} \approx c_{ав} - (c_{ав} - c_k)(T_{кнд}^* - T_v^*) / (T_k^* - T_v^*)$. Значения температур за вентилятором, за КНД или подпорными ступенями, за КВД в первом приближении определяются с учётом подобранных по поузловой модели ТРДД значений степеней повышения давления в компрессорах, КПД компрессоров и турбин. Далее в характерных сечениях проточной части (ПЧ) «холодной части» ТРДД определяются значения приведенной скорости λ . В соответствующих сечениях ПЧ турбин значения приведенных скоростей те же, или несколько меньше, чем в соответствующих сечениях ПЧ компрессора, например $\lambda_t \leq \lambda_v$.

2) Коэффициент восстановления полного давления σ в ступенях и лопаточных венцах (ЛВ) определяется путём сравнения идеального $P_{ид}^*$ (1) и фактического давлений P^*

$$P_{ид}^* = P_0^* (T^* / T_0^*)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (1)$$

При этом в качестве входных давления P_0^* и температуры T_0^* могут использоваться параметры на входе в каскад компрессора или турбины, на входе в ступень, в РК, в направляющий аппарат (НА) или сопловой аппарат. С учётом этого показатель $\sigma = P^* / P_{ид}^*$ может характеризовать как восстановление полного давления во всём компрессоре или турбине, так и на участке ПЧ, в т.ч. в отдельной ступени или ЛВ. Для РК таким образом определяется значение $\sigma_{врк}$ в относительном движении. КПД компрессора, нескольких или отдельных ступеней, РК или НА определяется по универсальной зависимости $\eta_k^* = 1 - (1 - \sigma^{\frac{k-1}{k}})(c_p T_1^* / H_T + 1)$ или $\eta_k^* = 1 / [(1 / \sigma)^{\frac{k-1}{k}} (c_p T_1^* / H_S + 1) - c_p T_1^* / H_S]$. При этом используются соответствующие значения σ и H_T (или H_S). Аналогично для турбин, нескольких или отдельных ступеней, РК или СА КПД определяется как $\eta_t^* = 1 / [1 + (1 - \sigma^{\frac{k_r-1}{k_r}})(c_{pr} T_0^* / L_T - 1)]$ или $\eta_t^* = 1 / [1 + (1 - \sigma^{\frac{k_r-1}{k_r}}) c_{pr} T_T^* / L_T]$. Здесь используются соответствующие значения σ и L_T

(или L_u). Такие выражения позволяют определить значения σ в каждой точке диаграмм Смита для компрессоров и турбин (при заданных значениях температур).

3) Для оптимизации частот вращения, числа ступеней на диаграммах Смита для компрессоров выделены линия H [2] и для турбин линия L [3]. Эти линии построены через точки касания изолиний $\eta^* = \text{const}$ и парабол с параметрами $V = H_T / c_a^2 = \overline{H}_T / c_a^{-2}$ для компрессоров и $V = L_T / c_a^2 = \overline{L}_T / c_a^{-2}$ для турбин.

Для максимизации КПД компрессора точки «ср» ступеней должны подбираться на линии H . За счёт подбора значений работ H_{Ti} и осевых скоростей c_{ai} требуется обеспечить одинаковые значения $\sigma_i = \text{idem}$ по ступеням. При этом одинаковы приращения энтропии в ступенях $\Delta S_i = -R \ln \sigma_i = \text{idem}$ в T-S координатах.

Список литературы

1. Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Симонов Н.Б. Оптимизация числа, распределения работ по ступеням и густот решеток профилей при проектировании компрессора / Известия высших учебных заведений. Авиационная техника, 2020. С. 112-118.
2. Симонов, Н. Б., Кривошеев И.А., Рожков К.Е. Выбор и оптимизация основных параметров турбокомпрессоров при проектировании и доводке ГТД / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника, 2021. № 67. С. 96-106. DOI 10.15593/2224-9982/2021.67.09. EDN SMARGJ.
3. Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Симонов Н.Б. Получение и использование обобщенных зависимостей при проектировании и доводке турбокомпрессоров газотурбинных двигателей / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника, 2022. № 71. С. 61-73. DOI 10.15593/2224-9982/2022.70.07. EDN ABEEGU.

Сведения об авторах

Кривошеев И.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры авиационных двигателей. Область научных интересов: моделирование, автоматизированное проектирование авиационных двигателей.

Рожков К.Е., к.т.н., доцент, доцент кафедры авиационной теплотехники и теплоэнергетики. Область научных интересов: рабочие процессы и проектирование лопаточных машин.

Симонов Н.Б., старший преподаватель кафедры авиационных двигателей. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов и проектирование лопаточных машин.

CHOICE OF PARAMETERS OF THE TURBOFAN AND GAS GENERATOR TURBOCHARGER IN THE DESIGN OF TWO SPOOL TURBOFAN ENGINE

Krivosheev I.A., Rojkov K.E., Simonov N.B.

Ufa University of Sciens and Technology, Ufa, Russia, krivososh777@mail.ru

Keywords: turbofan, turbocharger, gas generator, speed, flow path, stages, blade rows, axial speeds, work, Smith charts.

To select the main parameters of a turbofan and a gas generator turbocompressor (GG) when designing a two spool turbofan engine, the authors in [1, 2, 3] proposed an original method. It reduces the number of iterations.