

УДК 621.438:536.24

ГОРОБЕЦ Г.В.

Севастопольский национальный технический университет

К РАСЧЕТУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИСКАХ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

На підставі експериментальних досліджень вивчено закономірності розподілу температурних полів дисків роторів осевих компресорів газотурбінних двигунів на стаціонарних режимах роботи.

На основе экспериментальных исследований изучены закономерности распределения температурных полей дисков роторов осевых компрессоров газотурбинных двигателей на стационарных режимах их работы.

The legitimized of distribution of temperature of disks of axial compressors rotor of gas turbine engine are determined on base of experimental research on stationary modes.

a – коэффициент;
 b – коэффициент;
 C – коэффициент;
 i – номер рассчитываемого участка;
 k – показатель степени;
 m – показатель степени;
 n – частота вращения;
 p – показатель степени;
 q – показатель степени;
 R, r – радиус;
 \bar{r} – средний радиус;
 r_{\max} – максимальный радиус;
 t – температура;

t_i – температура на среднем радиусе i -го расчетного участка;
 $t_{\text{возд}}$ – температура охлаждающего воздуха под ступицей рассчитываемого диска;
 t_{\max} – температура воздуха в проточной части осевого компрессора;
 π_k – степень повышения давления воздуха в ступени над рассчитываемым диском.

Индексы:

возд. – охлаждающий воздух;
 \max – максимальный.

Сокращения:

ГТД – газотурбинный двигатель;
 ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

В настоящее время расчетам распределения температуры по поверхности вращающегося диска уделяется особое внимание, поскольку от этого зависит точность задания граничных условий теплообмена, а, следовательно, и достоверность расчета температурных напряжений ответственных деталей ротора ГТД [1, 2]. Расчетные методы определения температурного состояния дисков осевых компрессоров достаточно сложны и зависят от принятой картины течений охладителя во вращающейся полости, которая в настоящее время изучена недостаточно. В связи с этим экспериментальные исследования являются более предпочтительными, несмотря на значительные труд-

ности при проведении опытов на вращающихся объектах.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по термометрированию дисков, образующих вращающиеся полости, подобные полостям ротора многоступенчатого осевого компрессора с течением охладителя через центр ротора. Опыты выполнены на экспериментальном стенде, рабочий участок которого представлен на рис. 1.

Термометрирование дисков осуществлялось термопарами типа ХА в количестве 48 штук, установленными по радиусу с обеих сторон диска. Показания термопар посредством токосъемного устройства передавались на цифровой преобразо-

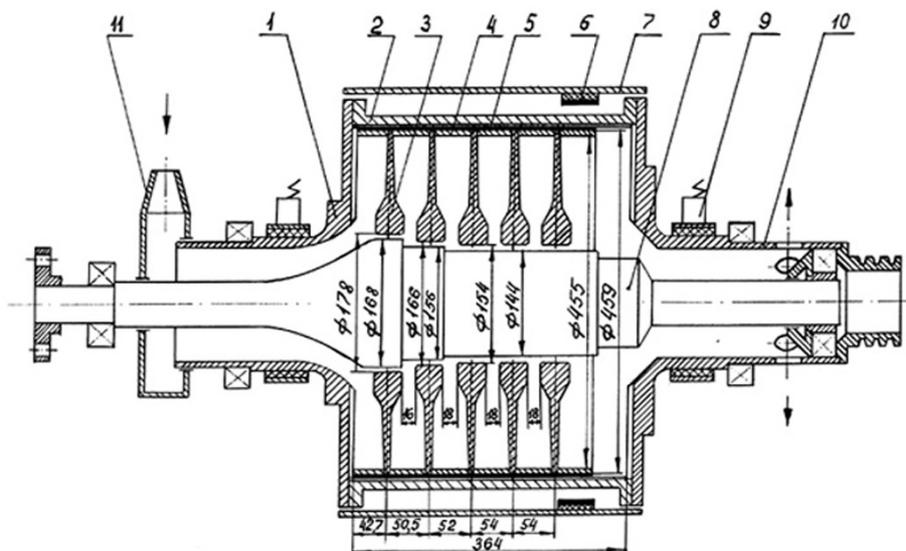


Рис. 1. Рабочий участок экспериментального стенда: 1 – полувал левый; 2 – барабан; 3 – диск; 4 – проставочное кольцо; 5 – внутренний электронагреватель; 6 – внешний электронагреватель; 7 – защитный кожух; 8 – центральный вал; 9 – медно-графитовые щетки; 10 – полувал правый; 11 – воздухоподводящий сальник.

ватель, осуществляющий обмен информацией с ЭВМ. Подвод теплоты к дискам осуществлялся посредством электрического нагревателя, установленного внутри по образующей обода ротора рабочего участка. Электронагреватель включен в цепь генератора постоянного тока мощностью 9 кВт с напряжением на клеммах генератора 12 В. Частота вращения рабочего участка регулировалась от 17 до 50 с⁻¹.

Центральный вал имел независимый привод от электродвигателя постоянного тока с возможностью вращения в обе стороны. В опытах вращение центрального вала совпадало с вращением ротора рабочего участка. Охлаждающий воздух подавался высоконапорной воздуходувкой, производительность которой регулировалась от 200 до 400 м³/час. Расход воздуха измерялся посредством сопла Вентури. Распределение температуры по радиусу дисков в опытах регистрировалось в процессах разогрева и охлаждения ротора. В данной работе представлены результаты стационарного теплового состояния деталей ротора, которые явились основой для разработки метода расчета температурных полей дисков роторов осевых компрессоров ГТД на стационарных режимах работы двигателя.

По результатам измерений строились графики распределения температур по радиусам дисков. С целью получения наиболее точной картины распределения температуры полотно диска разбивалось на 48 равных по площади расчетных участков, а конусная часть и ступица диска разбивались соответственно на 24 расчетных участка.

По графикам определялась температура на среднем радиусе каждого расчетного участка. Принималось, что температура на среднем радиусе i -го расчетного участка изменяется по закону

$$t_i = t_{\text{возд.}} + (t_{\text{max}} - t_{\text{возд.}}) \left(\frac{\bar{r}_i}{r_{\text{max}}} \right)^{m_i} \quad (1)$$

Температура охлаждающего воздуха под ступицей рассчитываемого диска $t_{\text{возд.}}$ определялась по зависимостям, полученным в работе [3]. Температура воздуха в проточной части осевого компрессора t_{max} определялась по степени повышения давления воздуха в данной ступени компрессора. Максимальный радиус диска r_{max} принимался равным радиусу торцевой поверхности межлопаточного канала.

Величина показателя степени m_i вычислялась из формулы (1). Установлено, что для i -го участка полотна диска m_i определяется по формулам

$$\text{при } \frac{t_{\max} - t_{\text{возд.}}}{t_{\text{возд.}}} \leq 0,83 \quad m_i = C_i \cdot n^{k_i}; \quad (2)$$

$$\text{при } 0,83 \leq \frac{t_{\max} - t_{\text{возд.}}}{t_{\text{возд.}}} \leq 3,15 \quad (3)$$

$$m_i = C_i \cdot n^{k_i} \left(\frac{t_{\max} - t_{\text{возд.}}}{t_{\text{возд.}}} \right)^{p_i}.$$

Коэффициенты C_i и показатели степени k_i и p_i определяются степенными зависимостями

$$C_i = a_1 \cdot i^{b_1}; \quad (4)$$

$$k_i = a_2 \cdot i^{b_2}; \quad (5)$$

$$p_i = a_3 \cdot i^{b_3}. \quad (6)$$

Формулы (4)-(6) получены из графиков логарифмической зависимости функции от номера расчетного участка. Нумерация участков начиналась от периферии диска.

В формулы показателя степени m_i для расчетных участков конусной и цилиндрической частей

ступицы диска добавляется множитель $\pi \frac{q}{k}$.

Показатель степени

$$q = a_4 \cdot i^{b_4}. \quad (7)$$

С целью оценки характера распределения температуры по радиусу диска выполнены расчеты двадцати вариантов дисков, отличающихся по размерам от дисков рабочего участка. У десяти вариантов максимальный радиус диска принят равным 0,6 м, радиусы отверстий в ступицах дисков задавались от 0,12 до 0,32 м.

В последующих вариантах наружный радиус дисков уменьшался с 0,6 до 0,3 м при постоянном центральном отверстии радиусом 0,12 м. Установленная в опытах независимость показателя степени m_i от величины среднего радиуса i -го рассчитываемого участка принималась во всех двадцати расчетных вариантах.

На рис. 2 представлено сопоставление распределения температуры по радиусу диска, рассчитанного по результатам данной работы, с характером распределения температуры, принятым для дисков турбин, при котором в формуле (1) показатель степени m_i является величиной постоянной [4]. Как видно из рисунка, наибольшие расхожде-

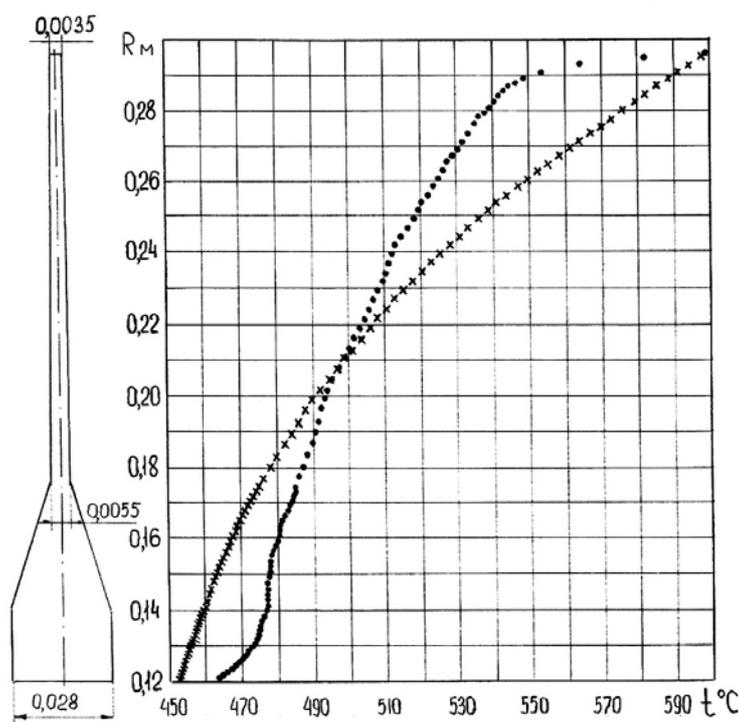


Рис. 2. Распределение температур по радиусу диска: ● – m_i рассчитывалось по формулам (1) и (2); × – $m_i = 3$.

ния температур наблюдаются на периферии и в ступичной части диска.

Графики рис. 2 выполнены для диска компрессора высокого давления со степенью сжатия в ступени $\pi_{\text{д}} = 48,3$, с частотой вращения ротора 150 с^{-1} , Температура охлаждаемого воздуха под ступицей диска определялась по рекомендациям работы [3].

Вывод

Выполненные расчеты показали, что характер распределения температуры по радиусу диска подобен распределению температур на дисках реальных двигателей на стационарных режимах их работы [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Long C.A., Morse A.P., Tucker P.G. Measurement and Computation of Heat Transfer in High-Pressure Compressor Drum Geometries with Axial

Throughflow // Journal of Turbomachinery. Vol. 119.– 1997.– P. 51-58.

2. Шевчук И.В. Влияние температурного распределения на стенке на теплообмен вращающихся дисков // Пром. теплотехника.– 2001.– Т. 23.– № 6.– С. 50-55.
3. Салов Н.Н. К определению подогрева воздуха, транспортируемого через полости ротора осевого компрессора //Изв. вузов. Авиац. техника.– 2000.– № 1.– С. 63-65.
4. Локай В.И., Максимова М.К., Стрункий В.А. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов.– М.: Машиностроение.–1979.– 447 с.
5. Колесников В.И., Шереметьев А.В. Концепция установления циклических ресурсов основных деталей АГТД с использованием методов численного и физического моделирования / Труды 2-го конгресса двигателестроителей.– Харьков.– 1997.– С. 287-291.

Получено 03.03.2004 г.