

УДК 621.438.226

Н.Н. Салов, профессор, д-р техн. наук, А.А. Харченко, ст. преподаватель**Г.В. Горобец, ст. преподаватель, В.М. Бубенцов, ст. преподаватель***Севастопольский национальный технический университет**Ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: emss@stel.sebastopol.ua***ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ОБОДА ДИСКА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ДИСКОВ РОТОРОВ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ГТД***Анализируется влияние толщины обода диска ротора газотурбинного двигателя на распределение температуры по радиусу диска.***Постановка задачи.**

Создание конкурентоспособных газотурбинных двигателей (ГТД) требует реализации высоких параметров термодинамического цикла при высокой надежности и ресурсе. Высокие значения параметров термодинамического цикла, характерные для современных и перспективных (ГТД), обуславливают тот факт, что прочностные характеристики и ресурс дисков роторов ГТД во многом определяются распределением температурного поля дисков.

Основными составными частями дисков роторов газотурбинных двигателей являются обод, полотно, конусная и цилиндрическая части ступицы. Обод представляет собой утолщенную часть периферии диска, на которой размещается замковая часть для закрепления рабочих лопаток. Температурное состояние дисков роторов осевых компрессоров барабанно-дисковой конструкции с осевой прокачкой охлаждающего воздуха зависит от теплового потока, поступающего через обод к полотну диска от воздуха, сжатого в проточной части компрессора. В связи с этим толщина обода и свойства материала, из которого состоит диск, будут оказывать влияние на распределение температуры по радиусу диска, образующего междисковую полость ротора.

Толщина обода зависит от конструктивных особенностей крепления дисков в роторе. На рисунке 1 показан диск ротора барабанно-дисковой конструкции. Общая толщина обода δ с проставкой (без замковой части) может достигать 0,010...0,012 м. Если диск изготовлен как показано на рисунке 2, то толщина обода диска существенно меньше и составляет от 0,002 до 0,004 м.

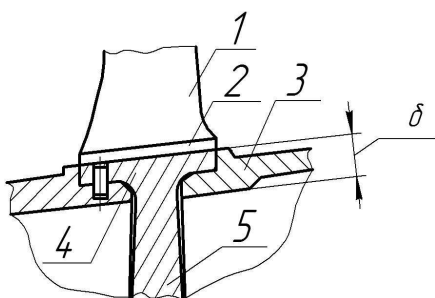


Рисунок 1 – Конструкция обода при креплении лопатки радиальным штифтом:

1 – рабочая лопатка; 2 – замковая часть;
3 – проставка; 4 – обод диска; 5 – полотно

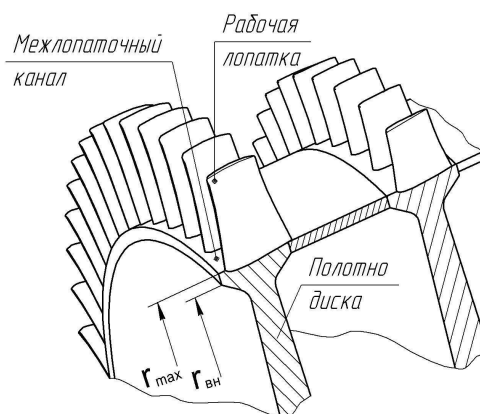


Рисунок 2 – Конструкция ротора барабанного типа

Анализ известных исследований. В известных методах расчета дисков на прочность распределение температуры по радиусу диска принимается в виде параболы [1]. При этом не учитывается толщина обода в межлопаточном канале, что не отражает реального профиля температуры в этом сечении диска.

Целью исследования является оценка влияния толщины обода диска на его температурное состояние.

Решение. В [2] получена зависимость для расчета распределения температуры по радиусу диска в междисковой полости ротора с осевой прокачкой охлаждающего воздуха при толщине обода до двух миллиметров

$$t_i = t_{\text{вс}} + (t_{\text{max}} - t_{\text{вс}}) \cdot \left(\frac{r_i}{r_{\text{max}}} \right)^m, \quad (1)$$

где $t_{\max}$ – температура сжатого воздуха в ступени исследуемого диска, °C; $t_{\text{гоз}}$ – температура охлаждающего воздуха в кольцевом зазоре под ступицей исследуемого диска, °C, определяемая по рекомендациям работы [3]; t_i – температура на среднем радиусе i -го расчетного участка диска, °C; $r_{\max}$ – наружный радиус обода диска в сечении межлопаточного канала, м; r_i – средний радиус расчетного участка, м.

Полотно диска условно разбивается на 48 равных по боковой площади расчетных участков. Конусная и цилиндрическая части ступицы условно разбиваются на 24 расчетных участка каждая.

Показатель степени в формуле (1) определяется по зависимости

$$m = C \cdot \left(\frac{t_{\max} - t_{\text{гоз}}}{t_{\text{гоз}}} \right) \cdot \text{Re}_{\omega}^x, \quad (2)$$

где окружное число Рейнольдса принимает вид $\text{Re}_{\omega} = \frac{\omega \cdot r_{\text{вн}}^2}{\nu}$; $r_{\text{вн}}$ – внутренний радиус междисковой полости ротора, равный по величине наружному радиусу первого расчетного участка полотна диска; ω – угловая скорость вращения ротора; ν – коэффициент кинематической вязкости, определяемый по температуре охлаждаемого воздуха $t_{\text{гоз}}$.

Поскольку количество тепла, поступающего к полотну диска через замковую часть с рабочей лопаткой, меньше, чем через участок межлопаточного канала, то и распределение температуры по радиусу диска в этих сечениях будет различным. На рисунке 3 представлены графики температуры в этих сечениях. Как видно из рисунка, это различие может быть весьма существенным. Расчеты выполнены при $t_{\max} = 600$ °C, $\omega = 576$ с⁻¹, $t_{\text{гоз}} = 436$ °C. Толщина обода в сечении межлопаточного канала принята равной двум миллиметрам. При расчете распределение температуры по радиусу диска в сечении рабочей лопатки в формуле (1) температура сжатого воздуха уменьшалась на 150 °C в соответствии с рекомендациями работы [4].

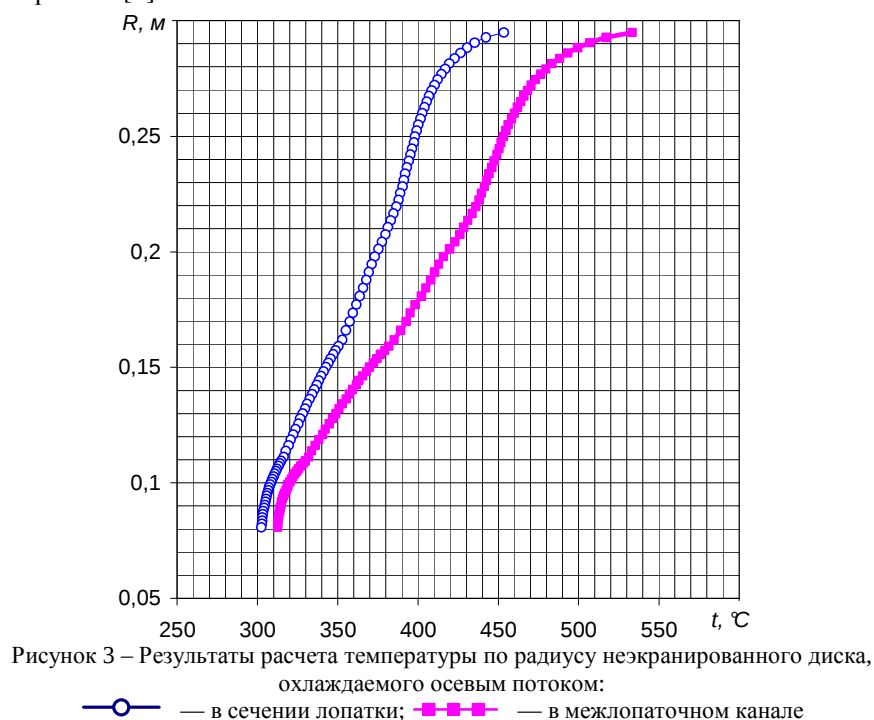


Рисунок 3 – Результаты расчета температуры по радиусу неэкранированного диска, охлаждаемого осевым потоком:

— в сечении лопатки; — в межлопаточном канале

Расчетная зависимость (1) удовлетворительно описывает распределение температуры по радиусу диска в сечении межлопаточного канала при толщине обода до 0,002 м. С целью применения данной зависимости при толщинах обода, превышающих 0,002 м, в формулу показателя степени m вводится множитель $\left(\frac{\delta}{0,002} \right)^{\beta}$. В этом случае зависимость для показателя степени m принимает вид

$$m_{\delta} = A \cdot m \left(\frac{\delta}{0,002} \right)^{\beta}. \quad (3)$$

Показатель степени β и коэффициент A определялись при $\left(\frac{t_{\max} - t_{\text{гоз}}}{t_{\text{гоз}}}\right) = 1$ для толщины обода 0,004; 0,006; 0,008; 0,010; 0,012 и 0,015 м, с размерами диска, указанными на рисунке 4. Показатель степени m определялся по формуле (2). Принималось, что распределение температуры по радиусу диска с увеличением толщины обода располагается эквидистантно распределению температуры для диска с толщиной обода 0,002 м. На рисунке 4 показаны графики распределения температуры по радиусу дисков с различной толщиной обода.

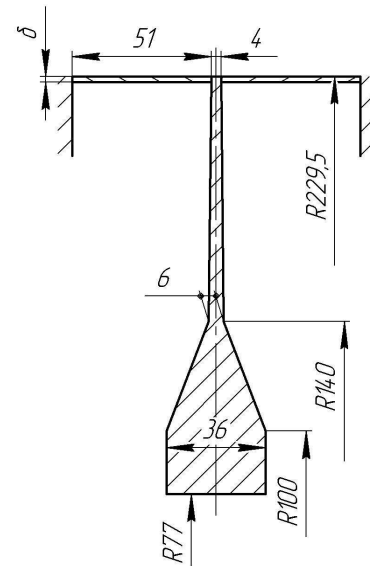
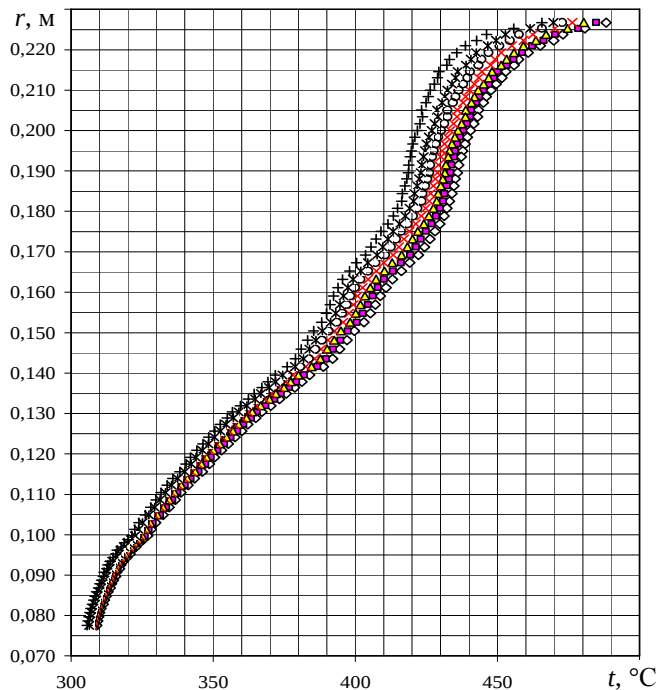


Рисунок 4 – Влияние толщины обода на характер распределения температуры по радиусу диска в сечении межлопаточного канала при $t_{\max} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{гоз}} = 280\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\omega = 2094,4\text{ с}^{-1}$:

◇ – $\delta = 0,002\text{ м}$; ■ – $\delta = 0,004\text{ м}$; ▲ – $\delta = 0,006\text{ м}$; × – $\delta = 0,008\text{ м}$; ○ – $\delta = 0,010\text{ м}$; ✱ – $\delta = 0,012\text{ м}$; + – $\delta = 0,015\text{ м}$

Как видно из графиков, толщина обода оказывает наибольшее влияние в той части полотна диска, которая прогревается посредством теплопроводности, получая тепло через обод от сжатого в проточной части воздуха, и слабо влияет в той части диска, которая прогревается стекающим вдоль диска горячим слоем воздуха.

Вывод. Таким образом, применение предложенных расчетных зависимостей позволяет на предварительных этапах проектирования определить температурное поле диска с учетом влияния толщины обода, что позволяет более точно оценить термонапряженное состояние диска. В дальнейшем предполагается исследовать напряженно-деформированное состояние обода дисков с учетом температурных напряжений.

Библиографический список

1. Петухов А.Н. Сопротивление усталости деталей ГТД / А.Н. Петухов. — М.: Машиностроение, 1993. — 240 с.
2. Салов Н.Н. Расчет температурных полей дисков роторов осевых компрессоров / Н.Н. Салов, Г.В. Горобец, А.А. Харченко // Вестник двигателестроения. — 2003. — № 2. — С. 85–86.
3. Салов Н.Н. К определению подогрева воздуха, транспортируемого через полости ротора осевого компрессора / Н.Н. Салов // Изв. вузов. Сер. Авиационная техника. — 2000. — № 1. — С. 63–65.
4. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструирование и расчет деталей / Г.С. Скубачевский. — М.: Наука, 1965. — 447 с.

Поступила в редакцию 22.10.2008 г.