

УДК 532.5:621.438

Н.Н. САЛОВ, А.А. ХАРЧЕНКО, Г.В. ГОРОБЕЦ

Севастопольский национальный технический университет, Украина

К РАСЧЕТУ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЙ У ПОВЕРХНОСТИ ЭКРАНИРОВАННЫХ ДИСКОВ С ЭЖЕКТОРНЫМИ КАНАЛАМИ В ПОЛОСТЯХ РОТОРОВ ГТД

На основе анализа экспериментальных исследований температурного состояния экранированных дисков роторов с эжекторными каналами в зоне ступицы и эжектирующим осевым потоком охлаждающего воздуха предлагаются зависимости для расчета производительности каналов. Проанализировано влияние степени экранирования, количества и размеров эжекторных каналов на температурное состояние дисков. Отмечено, что с уменьшением количества и размеров эжекторных каналов увеличивается температура отсасываемого в меньших количествах горячего воздуха, что увеличивает температуру ступичной части диска. Получены расчетные зависимости, описывающие распределение температуры по радиусу экранированного диска.

Ключевые слова: диски ГТД, эжекторы, гидродинамика, температурное состояние.

Постановка проблемы

В работах [1, 2] показана перспективность применения экранированных дисков ГТД с эжекторными каналами для уменьшения радиальных температурных напряжений посредством разогрева ступичной части диска горячим воздухом, отсасываемым эжектором с периферии полости. В качестве эжектора рекомендуется применять эжекторный канал, корпус которого омывается осевым потоком охлаждающего воздуха. Применение эжекторов с периферийным обдувом позволяет наиболее эффективно использовать динамический напор воздуха, отбираемого на охлаждение двигателя. От производительности эжектора будет зависеть гидродинамика течений охлаждающего воздуха в канале между экраном и диском, влияющая на характер распределения температуры по радиусу диска. В настоящее время в литературе нет сведений по методике расчета гидродинамики течений охлаждающего воздуха в полостях роторов с эжекторными устройствами.

Решение проблемы

Статья посвящена гидродинамическому расчету течений охлаждающего воздуха в полости ротора с экранированными дисками, снабженными эжекторными каналами. В расчет входит определение производительности эжекторного канала и скорости охладителя вдоль радиуса диска.

Корпус эжекторного канала представляет собой расширяющийся конус, при обтекании которого осевым потоком создаются условия для понижения давления в выходном сечении канала эжектора.

При таком обтекании корпуса эпюра скоростей по сечению канала имеет вогнутую форму. Большая скорость на внешней стенке корпуса уменьшает возможность отрыва потока от стенки расширяющегося канала, что способствует улучшению работы эжектора с внешним обдувом [3].

Если принять, что скорость отсасываемого воздуха на периферии экрана равна скорости обтекания осевым потоком корпуса эжекторного канала, а скорость в центре эпюры принять равной скорости всплытия к оси вращения под действием свободной конвекции в поле массовых сил, то расчетную скорость в сечении на выходе эжекторного канала $w_{эж}$ можно принять как среднemasсовую скоростей w_0 , с которой осевой поток обтекает корпус эжекторного канала, и w , с которой горячий воздух всплывает к оси вращения под действием сил плавучести во вращающейся полости. При определении w_0 необходимо учитывать загромождение эжекторами проходного сечения кольцевого канала под ступицей экранированного диска.

Специальных измерений скорости всплытия во вращающейся полости не проводилось, однако использование материалов работы [4] позволяет сделать вывод, что скорость всплытия находится в диапазоне 0,1...0,5 м/с. При этих условиях производительность эжектора определяется по формуле

$$v_{эж} = 0,75f \cdot w_{эж}, \quad (1)$$

где f – площадь сечения на выходе эжекторного канала, m^2 .

Производительность эжектора уменьшена на четверть, так как осевой поток омывает только $\frac{3}{4}$ поверхности корпуса эжектора.

Отсос эжектором воздуха осуществляется из обеих полостей одновременно. Учитывая это, скорость воздуха, отсасываемого из одной полости в зазоре между экраном и диском на среднем радиусе расчетного участка, определится по формуле

$$w_i = \frac{v_{эж} \cdot n}{2 \cdot F_i}, \quad (2)$$

где n – число эжекторов; $F_i = \pi \cdot d_i \cdot \delta_i$ – площадь проходного сечения в зазоре между экраном и диском на среднем радиусе i -го расчетного участка, m^2 ; d_i – текущий средний диаметр расчетного участка, m ; δ_i – ширина зазора между экраном и диском на среднем диаметре расчетного участка, m .

Как показали опыты, если число и размеры эжекторных каналов остаются постоянными, то количество отсасываемого воздуха из полости ротора прямо пропорционально осевому расходу воздуха, который протекает через кольцевой канал под ступицей экранированного диска. В наших опытах с изменяемым расходом воздуха при девяти эжекторах количество отсасываемого из обеих полостей воздуха во всех случаях составило 12% от величины осевого расхода воздуха.

Опытами установлено, что эффективность прогрева ступичной части диска зависит от величины площади выходного сечения эжекторных каналов. С уменьшением количества и размеров эжекторных каналов увеличивается температура отсасываемого в меньших количествах горячего воздуха, что увеличивает температуру ступичной части диска. В наших опытах этот эффект наблюдался в диапазоне $10 \leq F_{вх} / F_{вых} \leq 70$, где $F_{вх}$ – сумма площадей входных сечений зазора между экраном и диском на периферии обеих полостей; $F_{вых}$ – сумма площадей сечений на выходе эжекторных каналов. Как видно на рис. 1, в диапазоне $35 \leq F_{вх} / F_{вых} \leq 70$ разогрев ступицы снижается, т.е. уменьшается количество отсасываемого горячего воздуха, а вместе с ним уменьшается количество подводимого к ступице тепла. При $F_{вх} / F_{вых} < 10$ разогрев ступицы также уменьшается, т.к. из-за больших количеств отсасываемого воздуха воздух не успевает разогреваться.

Распределение температуры по радиусу диска подчиняется закону, который в нашем случае принимает вид

$$t_{эж} = (t_{вых} + (t_{max} - t_{вых}) \left(\frac{r_i}{r_{max}} \right)^{m_3}), \quad (3)$$

где $t_{эж}$ – температура i -го расчетного участка экранированного диска с эжекторными каналами, $^{\circ}C$; $t_{вых}$ – температура охлаждающего воздуха под ступицей экранированного диска, $^{\circ}C$; определяется по

зависимостям работы [5]; t_{max} – температура газа в проточной части ступени экранированного диска, $^{\circ}C$; r_i – средний радиус расчетного участка, m ; r_{max} – максимальный радиус диска, m .

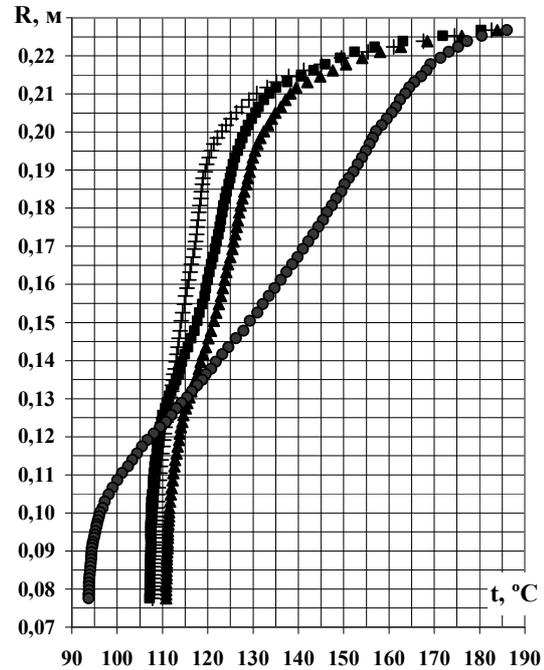


Рис. 1. Распределение температуры по радиусу диска:

- — неэкранированный диск;
- экранированный диск с эжекторными каналами:
- + — 9 каналов, $F_{вх} / F_{вых} = 11,4$;
- ▲ — 3 канала, $F_{вх} / F_{вых} = 34,2$;
- — 3 канала, $0,5 F_{вых}$, $F_{вх} / F_{вых} = 70,9$

Для экранированного диска с эжекторными каналами показатель степени m_3 определится как

$$m_3 = c \operatorname{Re}^x \cdot \left(\frac{F_{max} \cdot r_{п}}{F \cdot R} \right)^y \cdot \left(\frac{F_{эжвх}}{F_{эжвых}} \right)^z \cdot m_0, \quad (4)$$

где c, y, z – соответственно множитель и показатели степени, определяемые по экспериментальным данным для каждого расчетного участка диска; $\operatorname{Re} = w_i \cdot d_{эжв} / \nu$ – число Рейнольдса, определяемое по скорости воздуха в зазоре между экраном и диском; $\left(\frac{F_{max} \cdot r_{п}}{F \cdot R} \right)$ – степень экранирования диска;

F_{max} – площадь поверхности диска, m^2 ; $r_{п}$ – радиус междисковой полости, m ; F – площадь неэкранированных участков диска, m^2 ; R – радиус подвода воздуха в зазор между экраном и диском, m ;

$m_0 = c_1 \operatorname{Re}_{\omega}^{\alpha} \cdot \left(\frac{t_{max} - t_{вых}}{t_{вых}} \right)^{\beta}$ – показатель степени в

формуле (3) для расчета распределения температуры на неэкранированном диске; $Re_{\omega} = \omega \cdot r_{\max}^2 / \nu$ – число Рейнольдса вращательного движения.

Выводы

Предложенный метод расчета производительности эжекторных каналов с методикой расчета скорости охлаждающего воздуха в зазоре между экраном и диском позволяет определить на стадии проектирования оптимальные размеры устройств для уменьшения температурных напряжений в дисках роторов газотурбинных двигателей.

Литература

1. Салов Н.Н. Исследование температурного состояния экранированных роторов ГТД с эжекторными устройствами / Н.Н. Салов, А.А. Харченко, Г.В. Горобец, В.М. Бубенцов // *Авиационно-*

космическая техника и технология. – 2006. – № 8. – С. 117-120.

2. Салов Н.Н. Исследование термонапряженного состояния экранированных дисков роторов ГТД с эжекторными каналами / Н.Н. Салов, А.А. Харченко, Г.В. Горобец // *Вестник двигателестроения.* – 2007. – № 3. – С. 123-126.

3. Щукин В.К. Газоструйные компрессоры / В.К. Щукин, И.И. Калмыков. – М.: Машигиз, 1963. – 148 с.

4. Салов Н.Н. Исследование режимов течения в радиальном вращающемся канале при прокачке теплоносителя вдоль оси вращения / Н.Н. Салов, Л.В. Александрова, В.М. Бубенцов, Е.С. Химченко // *Рабочие процессы в охлаждаемых турбомашинных газотурбинных двигателях.* – Казань: КАИ, 1989. – С. 104-106.

5. Салов Н.Н. К определению подогрева воздуха, транспортируемого через полости осевого компрессора / Н.Н. Салов // *Изв. вузов. Авиационная техника.* – 2000. – № 1. – С. 63-65.

Поступила в редакцию 28.04.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автомобильного транспорта В.Н. Торлин, Севастопольский национальный технический университет, Севастополь.

ДО РОЗРАХУНКУ ГІДРОДИНАМІКИ ПЕРЕБІГУ У ПОВЕРХНІ ЕКРАНОВАНИХ ДИСКІВ З ЕЖЕКТОРНИМИ КАНАЛАМИ У ПОРОЖНИНІ РОТОРІВ ГТД

М.М. Салов, А.О. Харченко, Г.В. Горобецт

На основі аналізу експериментальних досліджень температурного стану екранованих дисків роторів з ежекторними каналами в зоні маточини і ежектуючим осьовим потоком повітря, що охолоджує, пропонується залежності для розрахунку продуктивності каналів. Проаналізований вплив ступеня екранування, кількості і розмірів ежекторних каналів на температурний стан дисків. Відмічено, що із зменшенням кількості і розмірів ежекторних каналів збільшується температура гарячого повітря, що відсисається в менших кількостях, що збільшує температуру маточинної частини диска. Отримані розрахункові залежності, що описують розподіл температури по радіусу екранованого диска.

Ключові слова: диски ГТД, ежектори, гідродинаміка, температурний стан.

COMPUTATION OF FLOW HYDRODYNAMICS AT THE SURFACE OF SHIELDED DISKS WITH EJECTOR BORES IN GTE ROTOR CAVITIES

N.N. Salov, A.A. Kharchenko, G.V. Gorobets

In the basis of analysis of experimental researches of the temperature state of the screened disks of rotors with the ducted ductings in the area of nave and ejecting axial stream of cooling air dependences are offered for the calculation of the productivity of ductings. Influence of screening degree is analysed, amount and sizes of the ducted ductings it is marked on the temperature state of disks, that with diminishing of amount and sizes of the ducted ductings the temperature suck off in less hot air is increased, that increases the temperature of fellow part of disk. Calculation dependences, describing distributing of temperature on the radius of the screened disk, are got.

Key words: GTE disks, ejectors, hydrodynamics, temperature field.

Салов Николай Николаевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, email: salov07@mail.ru.

Харченко Андрей Александрович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина, email: list-box@mail.ru.

Горобец Галина Владимировна – старший преподаватель кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Севастопольского национального технического университета, Севастополь, Украина.