

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА

Тисарев А.Ю.^{1,2}, Иванова С.С.¹, Наздрачёв С.В.¹, Юсупов Р.А.¹, Ненашев Д.А.¹

¹ПАО «ОДК–Кузнецов», г. Самара, ay.tisarev@uec-kuznetsov.ru

²Самарский университет, г. Самара

Ключевые слова: турбина, сопловой аппарат, пропускная способность, охлаждающий воздух, горло соплового аппарата.

Пропускная способность является важнейшим параметром турбины, определяющим положение рабочих точек на характеристиках компрессоров и турбин в системе ГТД. Пропускная способность турбины закладывается в термодинамическом проекте, обеспечивается при газодинамическом проектировании турбины, выдерживается при конструировании узла и контролируется на производстве.

Расход через сопловой аппарат турбины выражается в виде:

$$G_{CA} = \frac{m_2 P_{CA}^* F_{CA} q(\lambda_{CA})}{\sqrt{T_{2CA}^*}}. \quad (1)$$

В общем случае формулу для определения пропускной способности турбины можно упрощённо записать:

$$A_T = \frac{G_{CA} \sqrt{T_{2CA}^*}}{P_{CA}^*}. \quad (2)$$

Тогда расход через узкое сечение СА будет равен:

$$G_{CA} = \frac{A_T P_{CA}^*}{\sqrt{T_{2CA}^*}}. \quad (3)$$

При сопоставлении (1) и (3) очевидно, что величина пропускной способности включает в себя комплекс:

$$A_T = m_2 F_{CA} q(\lambda_{CA}).$$

Таким образом, пропускная способность турбины включает в себя характеристики рабочего тела, режимные параметры течения газа и площадь узкого сечения турбины, которая обычно соответствует горлу соплового аппарата. Контролируется, как правило, не в чистом виде пропускная способность турбины, а пропорциональная ей площадь самого узкого (горлового) сечения соплового аппарата турбины. Учитывается поправка площади горла на коэффициент расхода μ , и в действительности величина:

$$F_{CA} = \mu F_{измер},$$

где $F_{измер}$ – площадь горла, измеряемая в цехе для контроля технологической стабильности производства, которая близка к холодной площади горла СА.

В процессе эксплуатации в зависимости от режима площадь горла изменяется ввиду действующих нагрузок на конструкцию.

При 3D-CFD-расчёте СА для определения пропускной способности необходимо определить расход и полную температуру рабочего тела в горловом сечении. Полное давление перед СА является известным параметром в термодинамической модели.

Полная температура в горловом сечении определялась отдельно для каждого расчёта. Для определения полной температуры рабочего тела в горловом сечении применялась формула:

$$T_2^* = \left(T_0^* \cdot G_0 + \sum_{i=1}^n T_i^* \cdot G_i \right) / \left(G_0 + \sum_{i=1}^n G_i \right),$$

где T_0^* – полная температура перед СА; G_0 – расход рабочего тела перед СА; i – охлаждающий воздух, выходящий до горла; T_i^* – полная температура i -го выдуваемого охлаждающего воздуха; G_i – расход подводимого i -го выдуваемого охлаждающего воздуха.

Расход рабочего тела в горловом сечении определялся как сумма расхода рабочего тела перед СА и расхода охлаждающего воздуха, поступающего в тракт до горлового сечения СА. Расход рабочего тела в горловом сечении вычислялся по формуле:

$$G = G_0 + \sum_{i=1}^n G_i .$$

Определение величины пропускной способности усложняется тем, что охлаждающий воздух влияет на параметры рабочего тела в горле из-за:

- 1) утечек охлаждающего воздуха по стыкам соплового аппарата;
- 2) выпуска воздуха для создания плёночной завесы входной кромки, пера и полок;
- 3) выпуска воздуха через выходную кромку.

Достоверно не исследовано, какая часть составляющих охлаждаемых воздушных потоков выпускается до или за горло соплового аппарата. В ходе расчётных исследований была проведена оценка доли распределения воздуха на нужды конвективного охлаждения «до горла» и «за горло», определено влияние расхода плёночного охлаждения (до горла) на пропускную способность СА, определено влияние параметров рабочего тела (T^*_r , $P^*_{гСА}$) на величину пропускной способности, а также оценено влияние утечек по стыкам СА на пропускную способность. По итогу проведённых расчётов сформирован подход определения пропускной способности охлаждаемых газовых турбин, выявлена зависимость изменения пропускной способности от режима на основе обобщения данных.

Сведения об авторах

Тисарев Андрей Юрьевич, начальник отдела, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: процессы в пневмосистемах; теплогидравлический и термодинамический анализ ГТД.

Иванова Светлана Сергеевна, инженер-конструктор. Область научных интересов: рабочий процесс лопаточных машин авиационных двигателей.

Наздрачёв Сергей Владимирович, начальник отдела. Область научных интересов: конструкция и надёжность газотурбинных двигателей.

Юсупов Рустам Алиевич, инженер-конструктор. Область научных интересов: прочностные расчёты рабочих и сопловых лопаток турбин, дисков и дефлекторов турбин.

Ненашев Дмитрий Александрович, инженер-конструктор. Область научных интересов: сопряжённый теплообмен в охлаждаемых лопатках турбин.

OPERATIONAL FACTORS AFFECTING THE COOLED NGV THROUGHPUT CAPACITY

Tisarev A.Yu.^{1,2}, Ivanova S.S.¹, Nazdrachev S.V.¹, Yusupov R.A.¹, Nenashev D.A.¹

¹PJC “ODK–Kuznetsov”, ay.tisarev@uec-kuznetsov.ru

²Samara National Research University, Samara, Russia

Keywords: turbine, NGV, throughput capacity, cooling air, throat NGV.

Throughput capacity is the most important turbine parameter. Determining the amount of throughput is a complex process and depends on many factors. The paper presents the results of research conducted by means the computational fluid dynamics for detection throughput capacity the NGV. The influence of the cooling air and the parameters of the working fluid on the throughput capacity was studied in detail.