

УДК 621.45.015

## **ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГТД ОТ ПОДОГРЕВА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ВОЗДУХА**

© Мельников С.А., Харитонов А.А., Кудряшов И.А., Зубанов В.М.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: m.serg98@mail.ru

Система охлаждения турбины играет важную роль при проектировании двигателя. Обеспечение работоспособного теплового состояния охлаждаемой лопатки турбины требует достоверного определения расхода охлаждающего воздуха, который, в свою очередь, обусловлен согласованием пневмосистемы всего двигателя. В связи с этим актуальной является задача достоверного определения пропускной способности внутренней системы охлаждения лопатки турбины ГТД.

Наиболее достоверными являются данные, полученные в ходе экспериментальных исследований лопаток турбины ГТД. Эксперименты для определения теплового состояния лопаток, как правило, проводятся с использованием подогретого горячего газа, но при граничных условиях, отличных от условий работы в составе двигателя. Однако при таких испытаниях нет достоверной информации о подогреве охлаждающего воздуха в системе охлаждения при работе в составе двигателя. Известны экспериментальные данные по измерению пропускной способности системы охлаждения лопатки турбины ГТД в составе исследовательского стенда с использованием лазерного доплеровского анемометра [1]. Такой стенд позволяет получить зависимость пропускной способности внутренней системы охлаждения лопатки от перепада давления в системе охлаждения, но на данный момент только для холодного (или с небольшим подогревом) состояния лопаток.

Численное моделирование рабочего процесса охлаждаемых лопаток турбины выполняется с учетом твердого тела (теплообмена) [2]. В то же время отсутствие твердого тела может упростить расчет, сократить количество элементов сеточной модели, уменьшить затраты времени на настройку модели и проведение расчетов. Такой подход может использоваться, например, при доводке пленочного охлаждения без учета твердого тела [3]. При этом не исследовалось влияние отсутствия учета твердого тела (подогрева охлаждающего воздуха) на пропускные способности внутренней системы охлаждения лопатки и межлопаточного канала.

Таким образом, в результате проведенного анализа литературных источников не было выявлено исследований по влиянию теплообмена на пропускную способность внутренней системы охлаждения. В связи с этим в данной работе была поставлена задача оценить это влияние расчетным способом.

Объектом исследования является рабочий процесс охлаждаемой лопатки турбины. В качестве предмета исследования выбрана лопатка соплового аппарата (СА) турбины газогенератора (ТГГ). Лопатка СА ТГГ имеет конвективный дефлекторно-матричный способ охлаждения.

Структурированная гексагональная сеточная модель домена лопаточного венца рабочей лопатки была создана в программе Numeca AutoGrid5, сеточная модель

охлаждаемой сопловой лопатки – в Ansys Meshing. Во всех сеточных моделях выполнено сгущение вблизи поверхностей стенок для корректного моделирования пограничного слоя. Объем сеточной модели составил 201 млн эл., из них 57 млн эл. составляет твердое тело.

Численное моделирование выполнялось в ANSYS CFX. Для расчета в качестве граничных условий были заданы: на входе в сопловой аппарат – распределения по высоте полной температуры и полного давления, направление потока; на выходе из рабочего колеса – распределение статического давления; для системы охлаждения соплового аппарата – полное давление и полная температура на входе, значение расхода на выходе.

По результатам расчетов охлаждаемой лопатки СА ТГГ с учетом теплообмена и без него (наличие/отсутствие твердого тела) были определены (см. рис.):

- пропускная способность охлаждающего тракта лопатки от перепада давления в системе охлаждения  $A_{\text{охл}} = f(\pi_{\text{охл}})$ ;
- пропускная способность межлопаточного канала от степени понижения давления в ступени турбины  $A_{\text{В2В}} = f(\pi_{\text{ст}})$ .

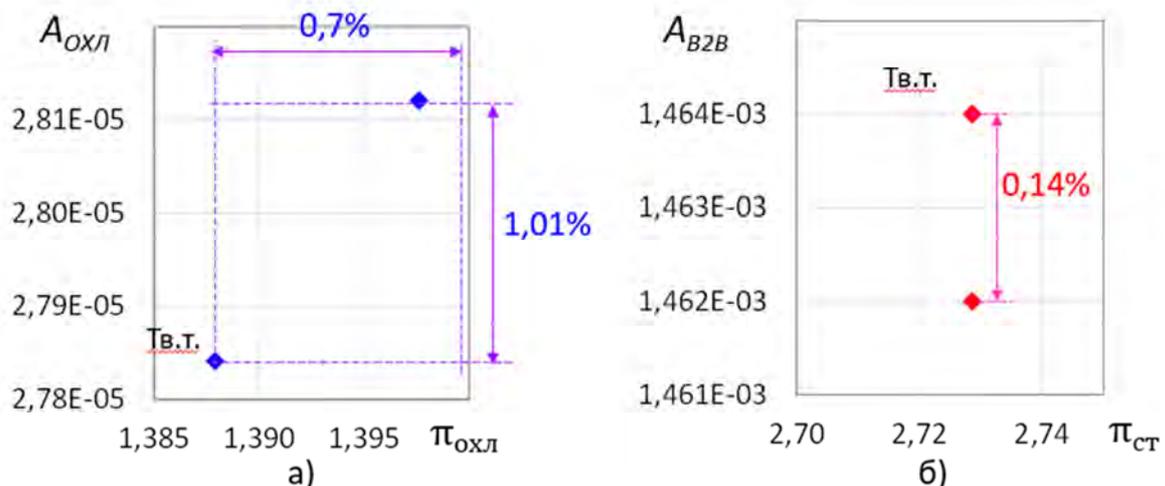


Рисунок – Пропускная способность охлаждающего тракта лопатки (а) и межлопаточного канала (б)

Определено, что подогрев рабочего тела  $\Delta T_{\text{охл}}^*$  в системе охлаждения составил:  $\Delta T_{\text{охл}}^* = 152 \text{ К}$  с учетом твердого тела,  $\Delta T_{\text{охл}}^* = 0,6 \text{ К}$  без твердого тела. Отсутствие теплообмена с твердым телом привело к тому, что плотность охлаждающего воздуха на выходе из щелей матрицы охлаждения была на 15,14 % больше относительно случая с твердым телом, а значение скорости – уменьшилось на 6,1 %. В случае без учета твердого тела физический расход охлаждающего воздуха был на 8,2 % больше, а пропускная способность – больше на 1,0 %.

Таким образом, для оценки пропускной способности межлопаточного канала подходит модель без учета теплообмена (без твердого тела). Для оценки пропускной способности системы охлаждения лопатки необходимо учитывать теплообмен (использовать полную модель). Определенная в данной работе значительная разница в расходе охладителя через систему охлаждения лопатки от подогрева охлаждающего воздуха может привести к неправильному определению пропускной способности внутренней охлаждающей системы лопаток на стенде, если

не учитывать меньшие значения температур охлаждающего воздуха, чем температуры в составе двигателя.

### **Библиографический список**

1. Самохвалов Н.Ю., Леванова М.Д., Попов Д.А. Разработка методики контроля системы охлаждения лопаток турбин ГТД // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2018. № 54. С. 41–56.

2. Викулин А.В., Земляная В.А., Жильцова Е.Н. Разработка системы охлаждения и верификация результатов моделирования температурного состояния рабочей лопатки газовой турбины // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6 (86). С. 114–121.

3. Исследование влияния параметров конечно-элементной сетки потока на Численное моделирование пленочного охлаждения сопловых лопаток турбин / Г.М. Попов, А.А. Волков, В.Н. Матвеев [и др.] // Насосы. Турбины. Системы. 2021. № 1 (38). С. 76–84.