

## РАСЧЁТ ОХЛАЖДАЕМЫХ ТУРБИННЫХ ЛОПАТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ANSYS CFX И MULTIPHYSICS

©2016 А.В. Ильинков

Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева - КАИ

### CALCULATION OF COOLED TURBINE BLADES USING SOFTWARE PACKAGES ANSYS CFX AND MULTIPHYSICS

Ilinkov A.V. (Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,  
Kazan, Russian Federation)

*Has been proposed method of thermal and hydraulic calculation of cooled turbine blades applying software packages ANSYS CFX and ANSYS Multiphysics that use experimental blowing-off results.*

При проектировании систем охлаждения высокотемпературных турбин требуется производить расчёты температурного состояния наиболее нагретых деталей, в частности, сопловых лопаток. Существуют различные подходы к проектированию их систем охлаждения.

Традиционный подход предполагает замену реальной лопатки её эквивалентной гидравлической схемой. Для неё формируется система уравнений, описывающих гидравлическое сопротивление каждого участка лопатки. Эти уравнения представляют собой уравнения Дарси-Вайсбаха, где коэффициенты гидравлического сопротивления определяются по результатам экспериментальных исследований. После этого производится гидравлический расчёт холодной лопатки и определяются расходы и числа Рейнольдса в каждом её участке. Затем по экспериментальным уравнениям подобия определяются граничные условия теплоотдачи. Далее в результате последовательных приближений находится подогрев охлаждающего воздуха и температурное состояние лопатки.

Преимуществом этого подхода является использование экспериментальных данных, однако для адекватного моделирования рассчитывать температурное состояние лопатки необходимо в трёхмерной постановке, а граничные условия определяются в одномерной. Поэтому сейчас этот подход считается уже устаревшим.

В настоящее время наибольшую популярность набирает подход, основанный на использовании численных методов. Реальная

лопатка заменяется трёхмерной сеточной моделью и с помощью метода контрольных объёмов рассчитывается течение охлаждающего воздуха. Одновременно решается сопряжённая задача теплообмена – определяется температурное состояние лопатки и подогрев воздуха в её каналах.

Так работают ANSYS CFX или Fluent. При реализации этого подхода основной сложностью является адекватное моделирование течения. Для верификации используются результаты экспериментальных исследований.

Однако в системах охлаждения лопаток современных газовых турбин часто используют интенсификацию теплообмена, основанную, как известно, на генерации отрывных течений для разрушения пограничного слоя. Численное моделирование только гидродинамики отрывных течений является сложной задачей, решаемой в настоящее время с индивидуальной настройкой и верификацией расчётных моделей. Расчёт же теплоотдачи в отрывных течениях, где не соблюдается аналогия Рейнольдса, представляет гораздо более сложную задачу, которая на современном этапе может рассчитываться не просто неточно, а даже неадекватно. Поэтому использовать этот подход при расчёте систем охлаждения с интенсификацией теплообмена следует с осторожностью.

В предлагаемом методе основной упор делается на использование экспериментальных результатов, с другой стороны, применение программных пакетов ANSYS CFX и ANSYS Multiphysics позволяет определять

температурное состояние лопаток в трёхмерной постановке, что соответствует современным требованиям.

Метод состоит из чередования гидравлического и теплового расчётов. Для выполнения гидравлического расчёта используется ANSYS CFX. Система охлаждения лопатки подразделяется на участки с известными уравнениями, определяющими потери давления. Соответственно, геометрическая модель представляет собой сборку, где каждой детали соответствует свой участок.

При составлении расчётной модели, участки описываются как пористые тела с задаваемым законом потерь давления и соединённые интерфейсами. Граничные условия на стенках задаются по гидравлике как

"полное проскальзывание", а по теплообмену в первом приближении (холодная продувка) – "адиабатическое".

Тепловой расчёт выполняется в ANSYS Multiphysics. Расчётная модель строится на базе твёрдотельной модели лопатки. Граничные условия теплоотдачи определяются на основании полученных в результате гидравлического расчёта значений скоростей воздуха и уравнений подобия.

После этого повторяют гидравлический расчёт, задавая граничные условия теплоотдачи и определяя подогрев воздуха. Затем снова повторяют тепловой расчёт. Так поступают до тех пор, пока значения подогрева охлаждающего воздуха не стабилизируются.

УДК 534.629.7.036.3

## **МЕТОД ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И АЭРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В КОМПРЕССОРЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

©2016 В.В. Посадов

Научно-производственное объединение «Сатурн», г. Рыбинск

### **DIAGNOSTICS METHOD OF AERODYNAMIC AND AEROELASTIC OSCILLATIONS IN THE GAS TURBINE ENGINE COMPRESSOR**

Posadov V.V. (PJSC "NPO "Saturn", Rybinsk, Russian Federation)

*This research contains analysis of external factors that affects the beginning of aerodynamic and aeroelastic oscillations in compressor of gas turbine engine. Has been developed the flutter and rotating stall diagnostics method. This method is based on frequency response characteristics. Type of oscillations is determined when signal magnitude reaches corresponding threshold (predicted taken into account operating conditions of the engine).*

Актуальность разработки метода вибрационной диагностики аэродинамических (вращающийся срыв) и аэроупругих (флаттер) колебаний в компрессоре при стендовых испытаниях газотурбинных двигателей (ГТД) обусловлена необходимостью своевременной и надёжной их диагностики из-за возникающих при них высоких вибрационных напряжений в деталях и узлах ГТД. Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных этой теме, алгоритмы и методы надёжной и своевременной диагностики колебаний реализованы не в полной мере.

Для разработки метода диагностики необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить сравнительный анализ существующих методов прогнозирования и диагностики флаттера;
- провести экспериментальные исследования аэродинамических и аэроупругих колебаний для ГТД различного класса тяги с целью выявления диагностических признаков.

Выполнен анализ состояния проблемы диагностики аэродинамических и аэроупругих колебаний, происходящих в компрессоре низкого давления ГТД, проанализированы