

ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОХЛАЖДАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

ТИП ПРЕДЛАГАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ/УСЛУГИ

- технические предложения
- общие технические требования
- услуги
 - проведение испытаний
 - проектно-изыскательские работы

ОБЛАСТЬ ЗНАНИЙ

44	Энергетика
44.31.03	Теоретические основы теплотехники

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

1. Газотурбостроение.
2. Авиационные газотурбинные двигатели.
3. Компактные теплообменники.

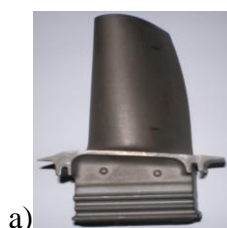
ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Методика была использована системы охлаждения сопловой лопатки стационарной ГТУ фирмы Сименс. Экспериментально исследованы модели входной кромки с закрытой циклонной схемой охлаждения, отличающиеся площадями подводящих и отводящих каналов. Были получены гидравлические характеристики для определения пропускной способности каналов и критериальные зависимости для расчета локальных и средних по обводу коэффициентов теплоотдачи в воздух. На моделях задней полости сопловой лопатки, изготовленных по SLM – технологии (рис. 1), проведены сравнительные испытания для оценки эффективности охлаждения сужающегося канала с вихревой матрицей и ребрами с выступами. Найдено распределение локальных коэффициентов теплоотдачи к охладителю в продольных и поперечных сечениях, построены критериальные зависимости для их расчета. С использованием полученных результатов разработана адекватная теплогидравлическая модель лопатки с перспективной схемой охлаждения.

С использованием разработанных методик проведена опережающая верификация гидравлической и тепловой моделей рабочей лопатки первой ступени турбины высокого давления двигателя АЛ-31СТН (рис. 2). Для уточнения тепловой модели по результатам испытаний для 5 поперечных сечений пера построены обобщенные зависимости для расчета локальных коэффициентов теплоотдачи.



Рис. 1. Фотография модели выходной кромки после испытаний.



а)



б)

Рис. 2. Лопатка 1 ступени турбины высоко давления двигателя АЛ31-СТН:

а) фотография лопатки;

б) фотография лопатки, препарированной для испытания в жидкометаллическом термостате



Рис. 3. Трехмерная модель прототипа



Рис. 4. Прототип, изготовленный по SLM-технологии

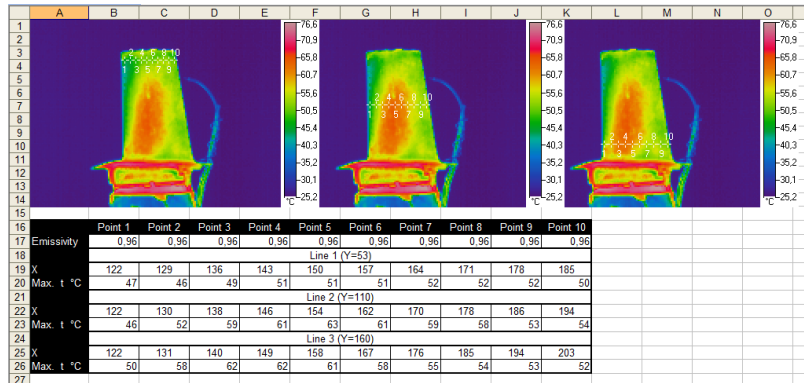


Рис. 5. Термограммы лопатки и результаты замера температуры в контрольных точках пера.

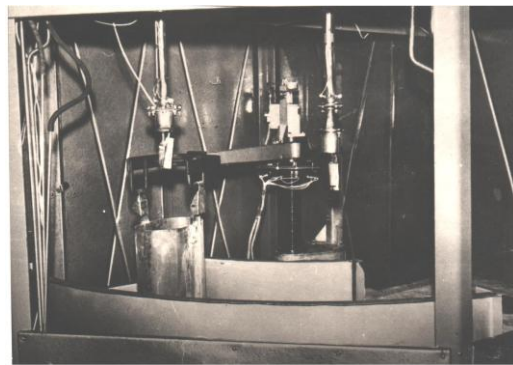


Рис. 6. Фотография испытательного бокса установки для калориметрирования лопаток в жидкометаллическом термостате

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Методика проектирования охлаждаемых лопаток газовых турбин, позволяющая проводить верификацию их тепловых и гидравлических моделей для принятия оптимальных конструктивных решений на ранних стадиях проектирования. В соответствии с предлагаемой методикой, изготавливается прототип лопатки для проведения тепловых и гидравлических испытаний. Для изготовления прототипа по SLM-технологии используется трехмерная геометрическая модель лопатки, полученная в результате проектирования (рис. 3).

Прототип изготавливается в масштабе 1:1. В зависимости от метода и программы испытаний, прототип лопатки может изготавливаться с необходимыми элементами, такими как: фланцы для подсоединения лопатки к рабочему участку испытательного стенда, отводящие коллекторы и др. (рис. 4).

Верификация тепловой модели лопаток с конвективными системами охлаждения базируется на сравнении распределения плотности теплового q_p , рассчитанного по верифицируемой тепловой модели, и q_c , определенного по результатам испытания ее прототипа в жидкометаллическом термостате. Сравнение тепловых потоков учитывает все параметры модели со стороны охладителя, определяющие температурное состояние лопатки. Полученные в расчете по программе значения плотности теплового потока по наружной поверхности q_{pr} сравниваются с экспериментальными q_{ic} .

Для перфорированных лопаток эффективность охлаждения определяется интенсивностью конвективного и пленочного охлаждения, в связи с этим, верификация тепловой модели разбивается на два этапа: 1 этап - верификация конвективной составляющей тепловой модели; 2 этап - верификация моделей, описывающих процесс охлаждения в условиях обтекания газовым потоком.

Разработан комплексный метод экспериментального определения тепловых характеристик охлаждаемых лопаток турбины газотурбинного двигателя, включающий

метод определения температурного состояния лопаток по результатам тепловизионных испытаний в стационарных условиях (рис. 5), и метод калориметрирования в жидкометаллическом термостате (рис. 6) для определения локальных коэффициентов теплоотдачи к охлаждающему воздуху и построения критериальных зависимостей.

Расчет эффективности методики проектирования систем охлаждения с применением опережающей экспериментальной верификацией теплогидравлических моделей на прототипах, позволяет сократить сроки начала серийного изготовления охлаждаемой лопатки на 9 -12 месяцев

ПРЕИМУЩЕСТВА

Окончательная верификация гидравлической и тепловой моделей лопатки выполняется, когда изготовлен первый комплект лопаток по технологии серийного производства. Испытания проводятся на газодинамическом стенде. Это приводит к дополнительным материальным затратам и увеличивает сроки проектирования турбины и двигателя в целом. Разработанная методика проектирования охлаждаемых лопаток газовых турбин, отличительной особенностью которой является экспериментальная верификация теплогидравлической модели путем испытания прототипа лопатки, изготовленного по SLM – технологии на ранних стадиях проектирования, позволяет получить экспериментально апробированный вариант лопатки и исключить ее экспериментальную доводку после начала серийного производства.

ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА

Патент РФ на изобретение №2084881, патент РФ на изобретение №2188323, патент РФ на изобретение №2238411, патент РФ на изобретение №2251622.

НАГРАДЫ

Медали ВДНХ: 2 серебряные, 3 бронзовые.

КОНТАКТЫ

Разработчик: Шевченко Игорь Владимирович,
Институт проблем энергетической эффективности,
кафедра Инновационных технологий наукоемких отраслей