

УДК 614.84

Круковский П.Г., Юрченко Д.Д., Полушинский А.С.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

ТЕПЛОВАЯ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОХЛАЖДАЕМОЙ ЛОПАТКИ ГТД В ТРЕХМЕРНОЙ СОПРЯЖЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ

Розглянуто комп'ютерну модель, виконану в програмі STAR-CD для лопатки, що охолоджується. Модель базується на чисельному розв'язку повної системи рівнянь Нав'є-Стокса та рівняння енергії для рідини та твердого тіла в спряженій постановці. Подано поля швидкостей, тисків та температур для міжлопаткового каналу, внутрішньої системи охолодження та тіла лопатки.

В работе рассматривается компьютерная модель охлаждаемой лопатки, выполненная в программе STAR-CD. Модель основана на численном решении полной системы Навье-Стокса и уравнения энергии для жидкости и твердого тела в сопряженной постановке. Приведены поля скоростей, давлений и температур для межлопаточного канала, внутренней системы охлаждения и тела лопатки.

Examined in this work is a model of a cooled blade made in program Star-CD. Model is based on the numerical solution of the complete system of Navier-Stokes and energy equation for liquid and solid body in the conjugate setting. The velocity, pressure and temperature fields for blade channel, the internal cooling system and blade body are presented.

ГТД – газотурбинный двигатель,
CFD – computational fluid dynamics (вычислительная гидродинамика).

Введение

Расчет температурного режима лопаток турбин в сопряженной постановке связан с моделированием гидродинамики потоков и теплообмена обтекаемых деталей турбомашин и детальным исследованием структуры потока в лопаточных аппаратах в условиях, когда существенную роль играет сжимаемость газового потока при трансзвуковых режимах обтекания [1].

Экспериментальные исследования, которые, как известно, проводятся на натурных моделях, содержат в себе серьезные недостатки, связанные с большим объемом и стоимостью экспериментальных работ, ограниченностью получаемой информации и, кроме того, в ряде случаев невозможностью адекватно моделировать процессы теплообмена в реальных течениях. В то же время практические задачи гидродинамики и теплообмена, как правило, допускают полную математическую формулировку и численную реализацию решения. Поэтому при расчете температурного режима лопаток турбомашин все большее значение приобретают численные методы исследова-

ния, позволяющие моделировать реальные течения и теплообмен, анализировать структуру потока, прогнозировать форму проточной части, обеспечивающую минимальные потери энергии и приемлемые уровни температур в достаточно широком диапазоне режимов работы лопаток.

Современное развитие численного моделирования дает возможность проводить расчет температурного режима рабочих лопаток турбин в трехмерной сопряженной постановке, однако проблема верификации и наладки модели все еще остается актуальной, так как для этого требуется экспериментальная или как минимум литературная информация.

Цели исследования

Целью данной работы является разработка трехмерной компьютерной модели межлопаточного канала, тела лопатки и канала охлаждения для расчета полей скоростей, давлений и температур лопатки, а также анализа коэффициентов теплоотдачи на поверхности лопатки.



Рис. 1. Общий вид и расчетная сетка охлаждаемой лопатки ГТД.

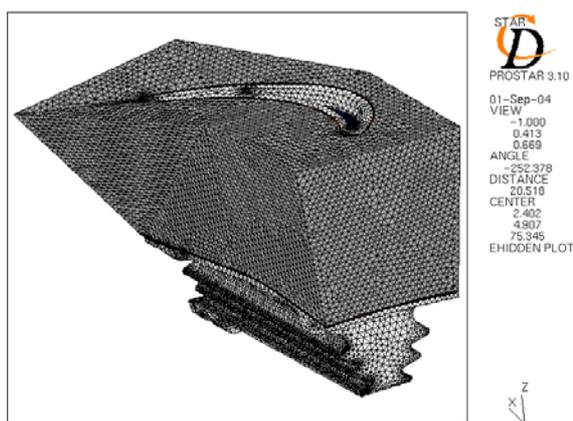


Рис. 2. Общий вид и расчетная сетка межлопаточного канала и лопатки ГТД с указанием расчетной сетки.

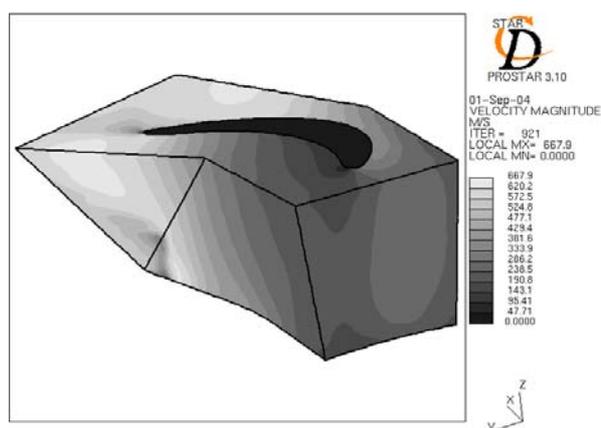


Рис. 3. Поле скоростей в межлопаточном канале.

Методы исследования

Для решения задачи была создана трехмерная компьютерная модель в CFD-пакете STAR-CD

(рис.1, 2). Этот процесс включает в себя импорт геометрии лопатки в среду STAR-CD, ее коррекцию, генерацию сетки, выбор оптимальной толщины и характера разбивки пограничного слоя, подбор необходимых параметров релаксаций. Общее число ячеек составило более чем 1 млн. В расчетах была использована модель турбулентности для высоких чисел Рейнольдса в ядре потока (HI-Reynolds), а также модель Norris&Reynolds для описания пограничного слоя [2]. На границе раздела твердое тело - жидкость выполнялись условия сопряжения.

Задача решалась в стационарной постановке с двойной точностью, при этом были удовлетворены критерии для невязок каждого из уравнений. Время расчета одного варианта на компьютере с процессором Pentium 4 2400 MHz, составляло около 6 часов.

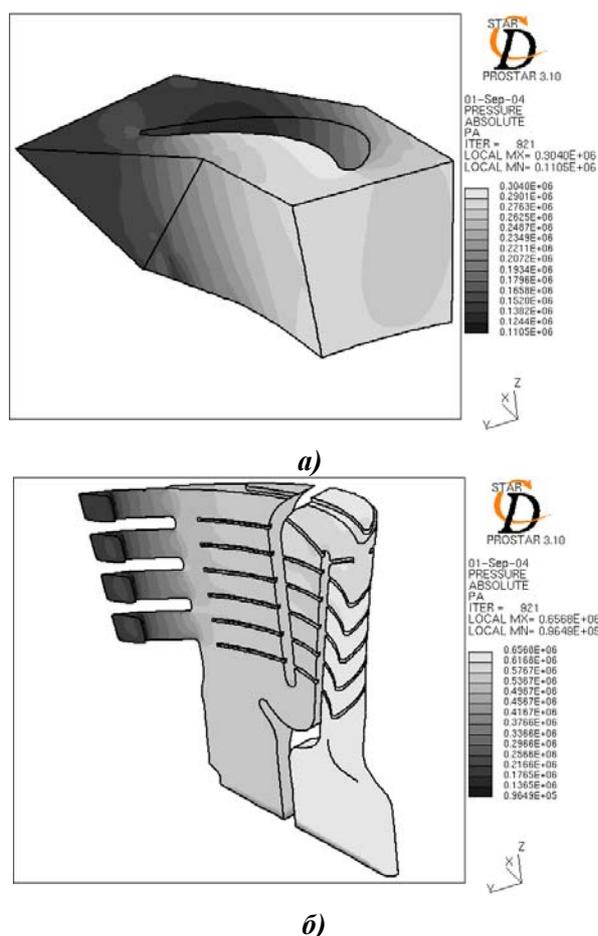


Рис. 4. Поле давлений в межлопаточном канале (а), в системе охлаждения лопатки (б).

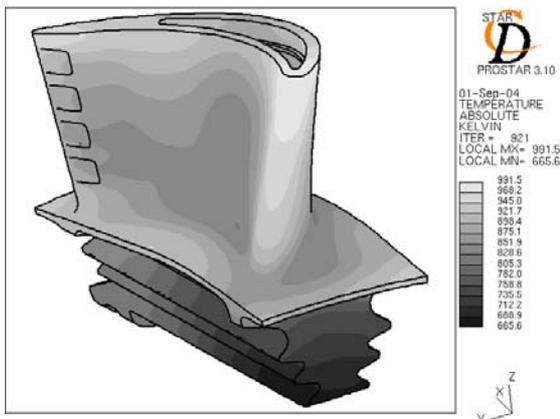


Рис. 5. Поле температур на поверхности лопатки ГТД.

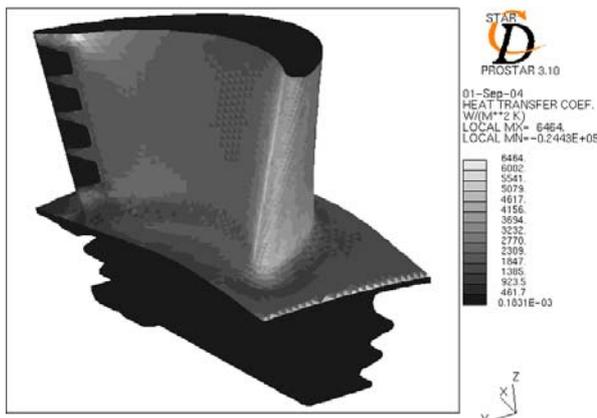


Рис. 6. Поле коэффициентов теплоотдачи на поверхности лопатки.

Обсуждение результатов

В результате расчетов были получены поля скоростей, давлений, температур для межлопаточного канала, канала охлаждения и самой лопатки, а также поле коэффициента теплоотдачи на поверхности лопатки (рис. 3-6).

Верификация описанной выше модели была осуществлена путем сравнения полученных решений с известными методиками [3] определения коэффициентов теплоотдачи на поверхности лопатки.

Выводы

Предложенная модель позволяет получать поля температур, скоростей и давлений в межлопаточном канале, канале охлаждения лопатки, а также коэффициентов теплоотдачи на поверхности лопатки ГТД. Методика решения описанной в статье задачи может быть использована для расчета и других обтекаемых объектов сложной формы. Очевидно, что применение CFD-технологий для данного класса задач дает возможность проводить анализ и оптимизацию теплообменных процессов с меньшими, по сравнению с экспериментальными, затратами времени и средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколовский Г.А., Гнесин В.И. Расчет смешанных течений в решетках турбомашин.- Киев: Наук. думка, 1981.- 184 с.
2. STAR-CD version 3.15, Methodology, CD Adapco Group, Computational Dynamics Limited, 2001.
3. Халатов А.А., Кащенко А.А., Халатов С.А.. Теплообмен и гидродинамика на торцевой поверхности криволинейных каналов и сопловых аппаратов турбин // Пром. теплотехника.- 1990.- Т. 12,- № 4.- С. 30-38.

Получено 11.10.2004 г.