

Завесное охлаждение лопатки турбины

Состав коллектива:

1. Козюлин Николай Николаевич, студент ФФ НГУ, 18368 гр. Инженер ИТ СО РАН (электронная почта nikkozyulin@gmail.com).
2. Хребтов Михаил Юрьевич, к. ф.-м. н., с. н. с. ИТ СО РАН.

Постановка задачи:

В рамках данной работы произведены исследования нескольких способов организации пленочного охлаждения, с генерацией нестационарных когерентных структур, проведенного путем численного моделирования. Рассмотрены конфигурации охлаждения лопаток турбин с перспективой активного управления происходящими процессами.

Актуальность работы заключается в исследовании путем численного моделирования методов активного управления завесным охлаждением. Реализованный метод охлаждения является одним из самых распространенных методов тепловой защиты в сложных системах (сопловых блоках летательных аппаратов, камерах сгорания, газотурбинных установках).

Современное состояние проблемы:

В настоящее время развитие технологий, науки и техники требует наличия эффективных систем охлаждения. Важнейшим параметром, определяющим рабочие характеристики таких систем и время жизни теплонагруженных элементов, является тепловая эффективность. Дальнейшее повышение эффективности систем охлаждения требует новых технических и инженерных решений. А существующие методы охлаждения нуждаются в модификации и возможности в ходе эксплуатации управлять происходящими процессами. Существует много пассивных (например, изменение формы поверхности за счет риблет, пуск дополнительных пристенных струй, акустическое воздействие динамиков на поток, создание на поверхности теплонагруженных элементов термозащитных барьеров и напыления, которые уменьшают тепловой поток) и активных (например, за счет воздействия электромеханических эффектов) методов управления охлаждением.

Описание работы:

Были исследованы две различные конфигурации для завесного охлаждения лопатки турбины. Принципиальное отличие двух случаев заключается в расположении отверстий, через которые производится подачи охладителя и их количества. Первая конфигурация реализована таким образом, что внутри лопатки находится полость, на границе которой в течение расчета фиксирована температура 273К, равная температуре охладителя. Охладитель, циркулируя внутри лопатки, охлаждает внутреннюю ее часть, снаружи лопатка нагревается внешним потоком при температуре 373К. Данная геометрия близка к реально реализуемой схеме конвективного охлаждения.

На Рис. а. показан типичный пример схем охлаждения лопастей турбины и лопатки. Похожие конфигурации были изучены в работах [Ho K. S. et al. 2014, 2015, 2016] с помощью пакета ANSYS CFX 14.0. В этих работах использовалась турбулентная модель $k-\omega-SST$.

Задача сопряженного теплообмена в твердом теле и в газе (жидкости) требовала разделения точек расчетной области на принадлежащие твердому телу и газу, для которых решались уравнения теплообмена со своими параметрами. Уравнения LES и теплопереноса в жидкой и твердой фазах

$$\frac{\partial T_{air}}{\partial t} + (\vec{U}\nabla)T_{air} = \frac{\nu}{Pr} \Delta T_{air} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\nu_T}{Pr_T} \frac{\partial T_{air}}{\partial x_i} \right)$$

$$\frac{\partial T_{solid}}{\partial t} = \frac{k}{\rho_{solid} \cdot c_{solid}} \Delta T_{solid}$$

Использовался солвер, для решения задачи сопряженного теплообмена, написанный в пакете OpenFoam в рамках данной работы.

Геометрия лопатки и всей расчетной области соотносятся таким образом, что обеспечивают периодичность по углу, с углом 4° . Трехмерная вычислительная сетка состоит из 10,5 млн. узлов. Форма вычислительной области выбрана таким образом, чтобы смоделировать наклоненный под углом участок лопатки ротора, подразумевая периодические граничные условия на боковых границах.

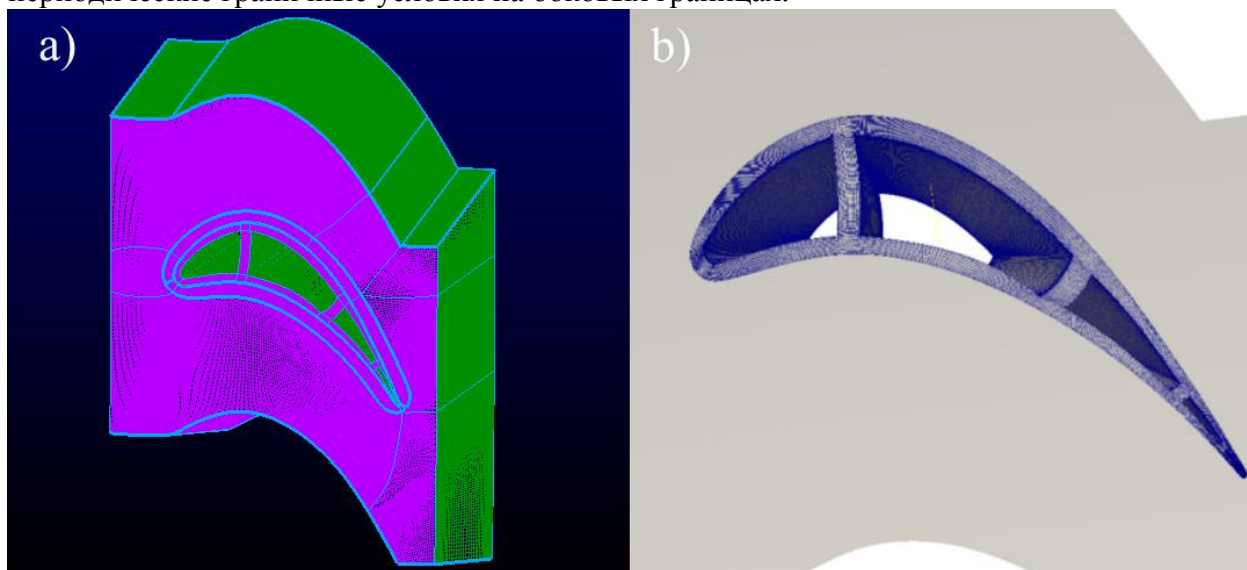


Рис. 1 Вид расчетной области (а), структурированная сетка для лопатки турбины (б).

На Рис. 2 б, в приведены результаты моделирования поля температур и поле скоростей соответственно. Видно, что за время расчета происходит теплообмен и в твердом теле устанавливается некоторое среднее значение температуры. При обтекании лопатки образуются сходящиеся вихри, их наличие можно качественно наблюдать по полю скорости, приведенном на Рис. 2в

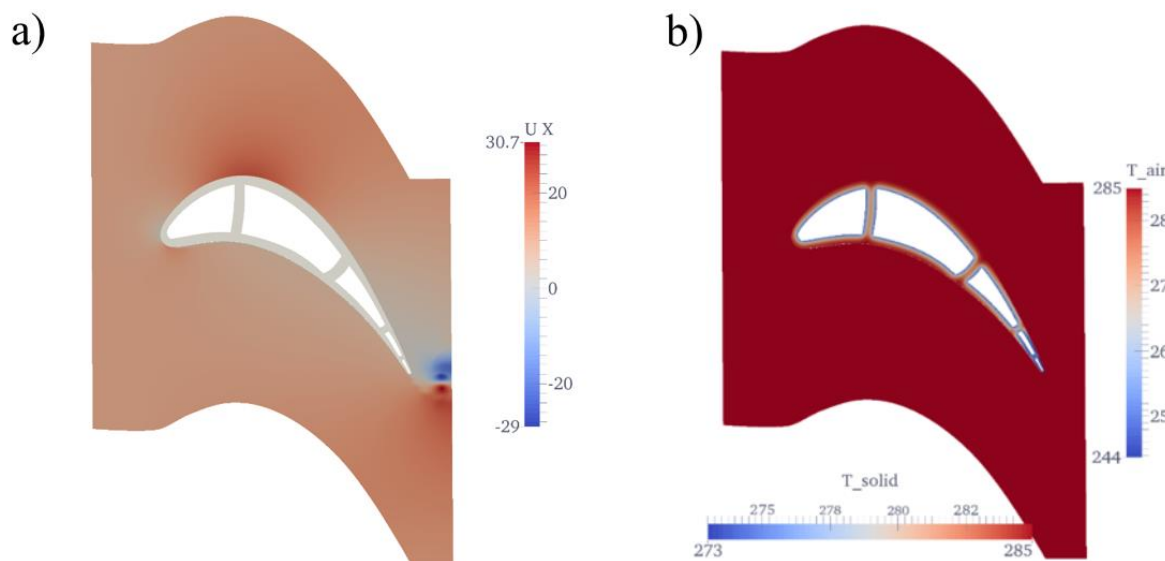


Рис. 14 Поля температуры в твердом теле и газе, x- компонента скорости.

Таким образом, были изучены конфигурации близкие по своим конструктивным характеристикам к реальным аналогам на примере лопатки газовой турбины. Были проведены тестовые расчеты в сопряженной постановке в твердом теле и жидкой/газообразной фазах методом LES с помощью реализованного в данной работе расчетного блока. Полученные результаты были использованы в дипломной работе на соискание степени магистра.