УДК 629.036

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА ГТД

© М. В. Акунец, В. М. Бузин, А. А. Волков, 2019

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва»

В статье описан процесс создания численной модели охлаждаемого соплового аппарата. За основу был взят охлаждаемый сопловой аппарат из отчёта NASA. Геометрическая и численная модели были построены по данным, приведенным в этом отчёте. Построение сеточной модели, настройка параметров решателя и анализ результатов проведены с помощью программного пакета NUMECA. Моделирование охлаждения задавалось с помощью функции Cooling/Bleed, которая позволяет учитывать выдув охлаждающего воздуха непосредственно на гранях элементов сеточной модели.

Численное моделирование, охлаждаемый сопловой аппарат, охлаждаемая турбина

COMPUTATIONAL SIMULATION OF A GTE COOLED NOZZLE BOX ASSEMBLY CHARACTERISTICS

© M. V. Akunets, V. M. Buzin, A. A. Volkov, 2019

Federal State-Financed Autonomous Educational Institution of Higher Education «Samara State Aerospace University named after Academician S. P. Korolev»

The paper describes a process of numerical model creation for a cooled nozzle box, the cooled nozzle box model was taken as a basis from a NASA report. Geometrical and numerical models were plotted according to the data provided by the mentioned report. Creation of grid model, (problem) solver setup parameters and analysis of the data obtained were carried out by means of NUMECA software package. Cooling model assignment was accomplished by means of the Cooling/Bleed function which allows to consider cooling air blowing directly on the grid model edges elements.

Computational simulation, cooled nozzle box, cooled turbine

Основным направлением повышения эффективности современных ГТД является повышение температуры рабочего тела перед турбиной. Но для обеспечения надёжной работы турбины, работающей на температурах, превышающих допустимые значения для материалов турбины, необходимо применять систему охлаждения. По этой причине в ГТД стремятся реализовать эффективные системы охлаждения.

В авиационном двигателестроении для обеспечения высоких значений КПД турбин в настоящее время широко применяются методы вычислительной газовой динамики. Например, они используются для моделирования и оптимизации рабочего процесса турбин. Проблема дороговизны исследований и времени проектирования остается актуальной, и именно численное моделирование позволяет существенно приблизиться к решению данной проблемы.

Расчёты численных моделей, стремящихся более точно описать физические процессы, всё ещё требуют значительных вычислительных ресурсов из-за сложности (рис. 1). По этой причине создание более простых численных моделей или альтернативных способов численного моделирования, обеспечивающих достаточную точность расчетов, является перспективным направлением развития компьютерного моделирования. Цель данной работы заключается в создании и верификации упрощенной численной модели охлаждаемого соплового аппарата ГТД, обеспечивающей приемлемую точность результатов.

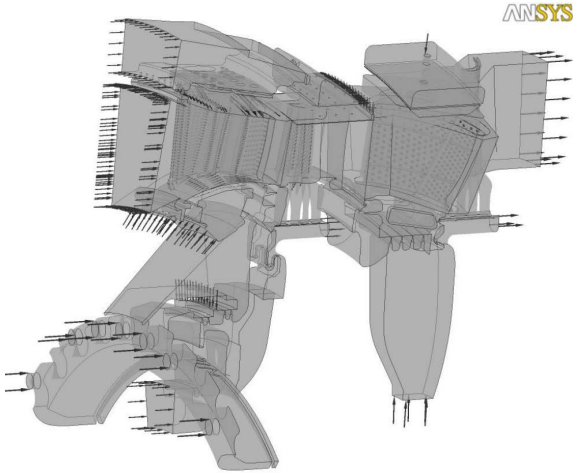

Рис. 1. Расчётная схема ТВД [1]

В данном случае главным помощником в создании упрощенной модели является функция программного комплекса NUMECA FINE/Turbo под названием Cooling/Bleed. Принцип ей действия заключается в моделировании выдувов охлаждения непосредственно с граней элементов сеточной модели без необходимости реализации геометрии охлаждающих отверстий. После настройки функции на сплошных стенках модели создаются дополнительные источники массы, импульса и энергии (рис. 2).

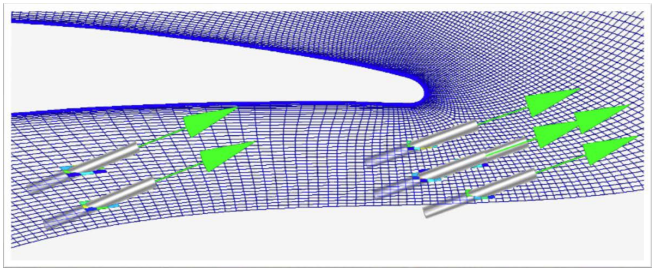

Рис. 2. Представление выдувов программой после настройки функции Cooling/Bleed

Работа началась с исследования отчёта TM X-73568 эксперимента NASA по продувке охлаждаемого соплового аппарата [2]. Из отчёта были получены результаты эксперимента, с которыми далее было проведено сравнение, координаты точек профиля лопатки, координаты положения охлаждающих отверстий и направления выдувов из них.

С использованием приведенных в отчёте данных была построена геометрия лопатки в программе Profiler. Далее геометрия была перенесена в модуль NUMECA AutoGrid 5, где была сформирована сеточная модель.

Параметры сеточной модели:

– количество элементов ≈ 2 млн;
– Expansion ratio ≈ 1.2;
– Aspect ratio ≈ 1000;
– y+ ≈ 1.

Заключительный этап настройки численной модели и её расчёт осуществлялись в модуле NUMECA FINE/Turbo (рис. 3, 4):

– модель турбулентности – Spalart-Allmaras;
– рабочее тело – воздух (реальный);
– граничные условия на входе – полное давление и полная температура;
– граничные условия на выходе – статическое давление;
– граничные условия охлаждающих отверстий – диаметр отверстий, полная температура и расход через отверстия.

Следует отметить, что в представленном ранее отчёте даны результаты продувки на различных отношениях полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе. Но функция Cooling/Bleed не позволяет задавать ни полное, ни статическое давление охлаждающего потока, поэтому в представленной работе данный параметр выдерживался путём подбора значений расхода через охлаждающие отверстия, обеспечивающих необходимые величины параметра.

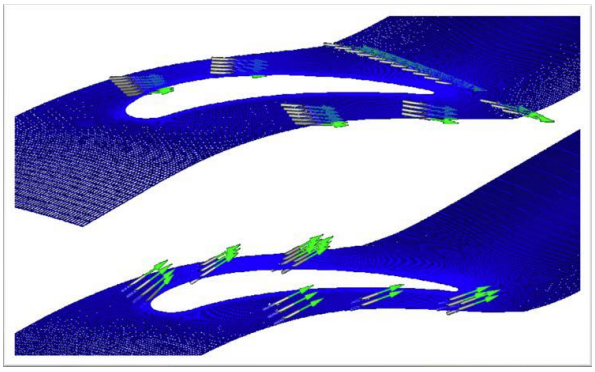

Рис. 3. Смоделированные выдувы охлаждающих отверстий

Рис. 4. Итоговый вид расчётной области

Для анализа полученных результатов отобразим линии тока охлаждающего потока (рис. 5), также построим зависимости эффективности решётки по высоте проточной части (рис. 6) и зависимости процентного отношения расхода через охлаждающие отверстия от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе (рис. 7).

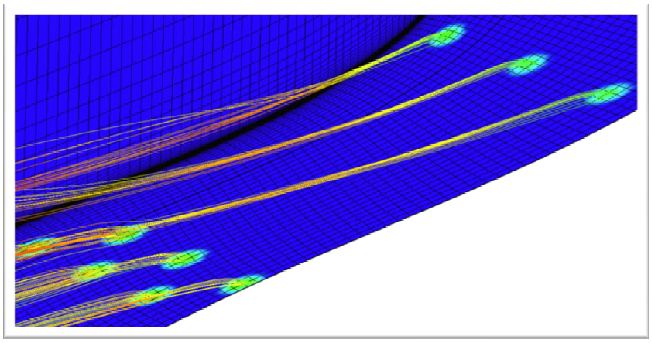

Рис. 5. Линии тока охлаждающего потока

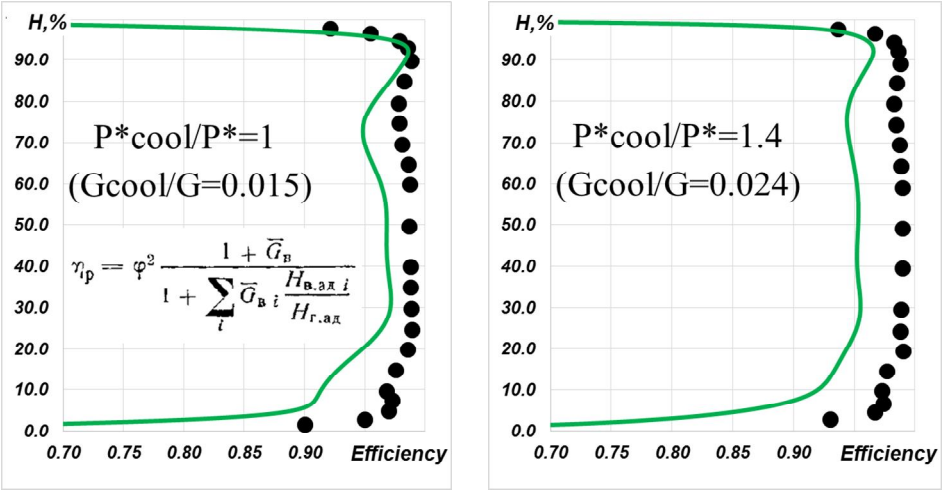

Рис. 6. Эффективность решётки по высоте проточной части

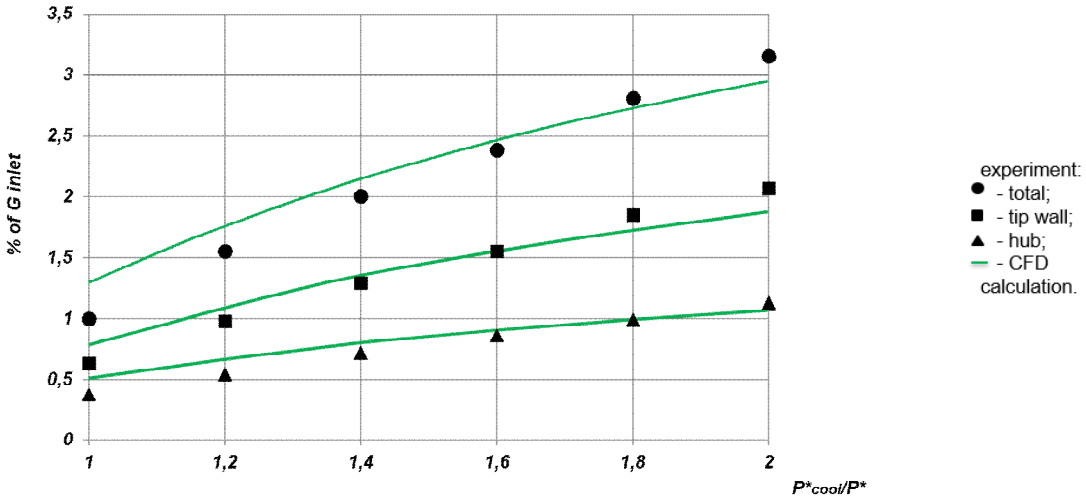

Рис. 7. Зависимость процентного отношения расхода через охлаждающие отверстия на втулке и периферии от отношения полного давления охлаждающего потока к полному давлению основного потока на входе

Анализ полученных результатов позволяет наблюдать их качественное совпадение с экспериментальными данными. Таким образом, можно сделать вывод о достоверности созданной численной модели.

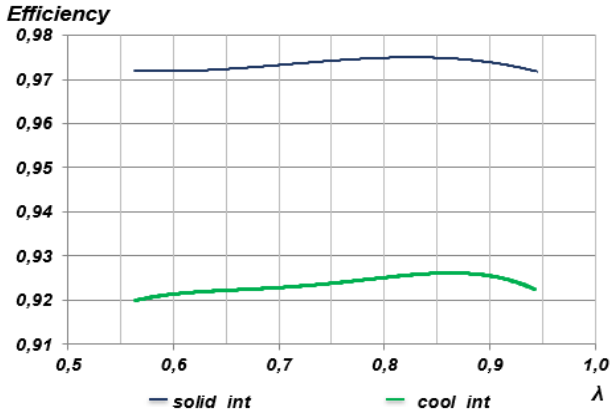

Рис. 8. Зависимость эффективности охлаждаемой и неохлаждаемой решеток от приведенной скорости

Было проведено сравнение охлаждаемой турбины с аналогичной неохлаждаемой (рис. 8).

В результате анализа работы были сделаны следующие выводы:

– данный подход позволяет получить результаты, качественно повторяющие экспериментальные;

– настройка модели достаточно проста;

– количество необходимых вычислительных ресурсов компьютера существенно ниже, чем при «прямом» численном моделировании.

Исходя из этого, можно заявить о имеющейся возможности проведения оптимизации плёночного охлаждения при полной автономности процесса и малой запрашиваемой мощности компьютера.

Результаты работы были получены с использованием средств гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (номер гранта МК-3168.2019.8).