

УДК 629.036

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРФОРАЦИИ ОХЛАЖДАЕМОЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ

© Сулейманов А.Р., Волков А.А.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: artur.suleimanov1997@gmail.com

В данной работе выполнена апробация подхода к моделированию пленочного и конвективного охлаждения в раздельной постановке для определения теплового состояния соплового аппарата турбины. После этого был проведен анализ влияния геометрических параметров отверстий для создания пленочного охлаждения на изменение конвективной составляющей эффективности охлаждения.

Создание численной модели рабочего процесса соплового аппарата для определения его теплового состояния можно выполнить разными методами: в виде полной сопряженной постановки или в виде псевдосопряженного моделирования. Как альтернативный способ предлагается определение теплового состояния с помощью раздельного моделирования пленочного и конвективного охлаждения, что и рассмотрено в данной работе.

Модели с полным сопряжением позволяют учитывать практически все геометрические особенности лопаток. Так как в этом случае напрямую рассчитывается передача тепла между основным потоком, лопаткой и охлаждающим воздухом. На сегодняшний день – это одни из наиболее точных численных моделей рабочего процесса турбины. Однако главный минус этого подхода – сложность создания, так как внутренняя конфигурация лопатки может быть сложной пространственной формы, что в значительной степени увеличивает трудоемкость создания численной модели.

Псевдосопряженное моделирование предлагает различные варианты передачи параметров между охлаждающим воздухом, лопаткой и основным потоком. Эти модели целесообразно применять для оптимизационных и доводочных расчетов, но в этом случае необходимо проводить одномерные гидравлические расчеты, которые могут иметь большую погрешность в случае сложной внутренней геометрии лопатки.

В качестве альтернативы описанным выше методам для проведения доводочных расчетов теплового состояния предлагается подход раздельного определения конвективного и пленочного охлаждения. При этом делается предположение о том, что в ограниченном диапазоне изменение геометрических параметров отверстий выдува не окажет большого влияния на конвективную составляющую охлаждения и она будет оставаться примерно постоянной. На основе этой теории будет возможным проведение расчетов отдельно для конвективного и пленочного охлаждения, а после рассчитывать суммарную эффективность охлаждения.

Исходя из этого, цель данной работы – подтвердить возможность раздельного расчета эффективности пленочного и конвективного охлаждения для определения температуры лопатки, а также оценить возможность сохранения конвективной эффективности охлаждения постоянной при изменении пленочной эффективности охлаждения [1; 2].

В качестве предмета исследования используется экспериментальный сопловой аппарат (СА), предоставленный предприятием ПАО «ОДК-Кузнецов», для которого известны данные по термометрированию для конвективного и пленочного охлаждения.

Данная лопатка обладает системой конвективно-пленочного охлаждения. За конвективное охлаждение отвечает вихревая матрица, защитная пленка создается десятью рядами отверстий.

Сеточная модель создавалась в программном пакете ANSYS MESHING с параметрами: функция задания размера элемента Proximity and curvature, глобальный размер элемента 2 мм. Параметры пристеночного слоя: размер первого элемента 0,001 мм, коэффициент роста 1, 2, количество слоев 20. Количество элементов для полной сопряженной модели составляет 63 млн элементов.

Численное моделирование проводилось в программном пакете ANSYS CFX. Модель турбулентности: *SST Fully Turbulent*. На входе задавались полное давление и температура, на выходе статическое давление. Для охлаждающего воздуха пленочного и конвективного охлаждения на входе задавались расход и температура. Рабочее тело: идеальный газ, параметры удельной теплоемкости и динамическая вязкости являлись функциями от температуры, материал лопатки – сталь ЖС6У.

В ходе работы валидированы модели по конвективному и пленочному конвективному охлаждению в адиабатической и сопряженной постановке среднее расхождение с данными эксперимента составляет 5–10 %. Создана полная модель конвективно-пленочного охлаждения. Проведено сравнение результатов расчета всей системы охлаждения СА и пленочного охлаждения в адиабатической постановке, в результате различие составляет менее 1 %. Это позволяет сделать вывод о том, что нет необходимости учитывать воздух, участвующий только в конвективном охлаждении при проведении адиабатических расчетов.

Проведена апробация подхода к раздельному моделированию конвективного и пленочного охлаждения для определения температуры лопатки СА. В целом получаемые результаты сопоставимы как по характеру, так и по числовым значениям. Наибольшее расхождение составляет 10–15 % и наблюдается на корытце вблизи выдува охладителя и в области вторичных течений.

Проведен анализ влияния геометрических параметров отверстий пленочного охлаждения в СА на эффективность конвективного охлаждения. В результате можно сделать вывод, что при уменьшении количества отверстий распределение эффективности конвективной составляющей охлаждения остается примерно прежним, наибольшие отличия наблюдаются в зоне изменения перфорации и составляют 5-8 %. При исследовании влияния диаметров было выявлено, что оказываемый эффект меньше, чем от изменения количества отверстий. Наибольшее расхождение наблюдается в тех же местах и составляет 3–5 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания (номер проекта FSSS-2020-0015, «Исследование устойчивых и неустойчивых динамических и виброакустических процессов в гидравлических и газовых системах на основе физического и математического моделирования»).

Библиографический список

1. Данильченко В.П. [и др.]. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. 620 с.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.