

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛЕНОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Колесова Е.Г.¹, Жорник М.Н.¹, Колесова А.А.², Веретенников С.В.²

¹ПАО «ОДК Сатурн» г. Рыбинск,

²Рыбинский государственный авиационно-технический университет им. П. А. Соловьева
г. Рыбинск, kolesova_eg@mail.ru

Ключевые слова: пленочное охлаждение, теплоотдача, эффективность пленочного охлаждения, параметр вдува, система охлаждения лопаток турбин.

При проектировании лопаток современных ГТД одной из главных задач является создание системы охлаждения лопатки, позволяющей обеспечить такое температурное состояние, которое бы удовлетворяло требованиям прочности и ресурса с минимальными затратами. В настоящее время на наиболее часто используются конвективно-пленочные схемы охлаждения рабочих и сопловых лопаток турбин. При пленочном охлаждении происходит создание на наружной поверхности лопатки турбины защитной прослойки охлаждающего воздуха, снижающей температуру газового потока, воспринимаемого стенкой.

Большинство работ посвящено исследованию эффективности пленочного охлаждения при дозвуковом течении основного потока с различными вариантами форм и размеров отверстий. При этом в качестве тестовых экспериментов при проведении испытаний на отверстиях более сложной формы используют опыты на плоской пластине с цилиндрическими отверстиями с углами выхода охладителя от 25 до 35°. Все эксперименты такого типа основаны на предположении адиабатной стенки, т.е. стенка для проведения эксперимента обладает очень низкой теплопроводностью. При этом четких указаний, при какой теплопроводности материала, стенку можно считать адиабатной в литературе нет. Все результаты испытаний представляют в виде зависимости адиабатной эффективности охлаждения η от относительного расстояния от отверстия x/d .

$$\eta = \frac{T_{\Gamma}^* - T_{пл}}{T_{\Gamma}^* - T_{охл}^*} \quad (1)$$

где T_{Γ}^* – температура торможения газового потока;

$T_{пл}$ – температура пленки (равная температуре адиабатной стенки);

$T_{охл}^*$ – температура торможения охлаждающего воздуха.

В инженерной практике чаще используют поперечно осредненную эффективность пленочного охлаждения, определяемую по соотношению:

$$\bar{\eta}(X) = \frac{1}{P} \int_{-P/2}^{P/2} \eta(X, Z) dZ \quad (2)$$

Данная величина характеризует общий эффект газовой завесы на участке равном *шагу отверстий* - p .

На ПАО «ОДК «Сатурн» изготовлена установка для исследования эффективности пленочного охлаждения. Установка *представляет* собой плоский канал через, который прокачивается холодный воздух. В данном канале предусмотрена возможность замены участка одной из боковых стенок на объект испытаний – плоскую пластину с различными формами и углами отверстий перфорации, через которые происходит выдув горячего воздуха в основной канал. Измерение температуры поверхности стенки, на которую происходит выдув теплоносителя измеряется при помощи термографа FLIR T440. При этом боковая стенка канала выполнена из ИК прозрачного стекла.

Для отладки методики проведения испытаний были проведены тестовые опыты на пластине, изготовленной из полиамида методом 3D-прототипирования, с отверстиями перфорации, расположенными под углом 30° к выдуваемой поверхности, шаг между отверстиями составляет $p/d=3$. Теплопроводность полиамида используемого для изготовления

моделей точно неизвестна в источниках она варьируется от 0,3 до 0,9 Вт/(м К). Испытания проводили в два этапа на объектах испытаний с одинаковыми отверстиями пленочного охлаждения, но на втором этапе работ между исследуемой поверхностью и внутренней стенкой объекта испытаний была сделана замкнутая полость с воздушной прослойкой для снижения подогрева стенки от горячего воздуха подоваемого в отверстия перфорации. Испытания проводили в диапазоне параметров вдува m от 0,04 до 2 и скоростях основного потока λ от 0,185 до 0,53. Сравнение результатов эксперимента с испытаниями других авторов [1] представлено на рис. 1.

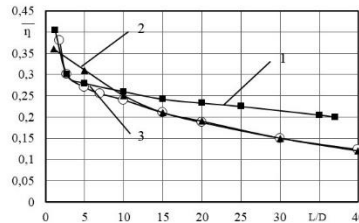


Рис. 1. – Сравнение результатов экспериментов для модели из полиамида без воздушной прослойки 1 и с воздушной прослойкой 2 (параметр вдува $m=1$, скорость основного потока $\lambda=0.35$) с результатами других авторов [1]

Отклонение результатов экспериментов для модели из полиамида с наличием воздушной прослойки №2 от результатов других авторов не превышает 5%, при этом для модели из полиамида №1 до $x/d=10$ зависимость носит тот же характер, но с увеличением x/d отклонение растет и при $x/d=30$ уже составляет более 30%. за счет значительного подогрева пластины от источника вторичного воздуха.

Список литературы:

1) Bunker, R.S. A study of mesh fed slot film cooling/ R.S. Bunker// Proceeding of ASME Turbo Expo–2009. Power for Land, Sea and Air. GT2009-59338.

Сведения об авторах:

Колесова Елена Геннадиевна, канд. техн. наук, ведущий специалист КО Турбин ПАО «ОДК Сатурн».

Жорник Максим Николаевич, канд. техн. наук, ведущий специалист ЭИУ ПАО «ОДК Сатурн».

Колесова Анна Александровна, студентка 4 курса, обучающаяся по направлению «Теплоэнергетика и Теплотехника», Рыбинский Государственный авиационно-технический университете имени П.А. Соловьева..

Веретенников Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой Общей и Технической Физики, Рыбинский Государственный авиационно-технический университете имени П.А. Соловьева.

TECHNIQUE FOR EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF FILM COOLING

Kolesova E.G.¹, Zhornik M.N.¹, Kolesova A.A.², Veretennikov S.V.²

¹UEC NPO Saturn, Rybinsk, Yaroslavl Oblast, Russia, kolesova_eg@mail.ru

²Rybinsk State Aviation Technical University named after PA Solovyov,
Rybinsk, Yaroslavl Oblast, Russia

Keywords: Film cooling, heat transfer, film cooling efficiency, injection parameter, turbine blade cooling system.

The paper presents a technique and the results of an experimental study of the effectiveness of film cooling on a flat plate with holes located at an angle of 30°. The tests were carried out in the range of injection parameters m from 0.04 to 2 and the main flow rate λ from 0.185 to 0.53.