

В. Ю. ПЕТЕЛЬЧИЦ, Д. Н. ПИСЬМЕННЫЙ, Ю. Я. ДАШЕВСКИЙ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛЁНОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

АННОТАЦИЯ В работе представлены результаты численного моделирования пленочного охлаждения рабочей лопатки турбины при подаче охладителя на участок входной кромки через три ряда цилиндрических отверстий. С целью определения влияния кривизны поверхности на эффективность пленочного охлаждения, выполнено сравнение полученных результатов моделирования с результатами моделирования обтекания плоской пластины с пленочным охлаждением на входном цилиндрическом участке. Исследования проводились при величинах параметра вдува от 0,5 до 2,0. Размеры расчётной модели и исходные данные приняты характерными для лопатки турбины высокого давления высокотемпературного ГТД. Моделирование выполнено с помощью программного комплекса ANSYS CFX.

Ключевые слова: пленочное охлаждение, параметр вдува, входная кромка, система охлаждения, спинка, корыто.

V. PETELCHYTS, D. PYSMENNYI, Y. DASHEVSKYY

EVALUATION OF THE INFLUENCE ON THE EFFICIENCY CURVATURE OF THE SURFACE FILM COOLING

ABSTRACT The results of numerical simulation of film cooling of the turbine rotor blade with the flow of coolant to the area of the leading edge through three rows of cylindrical holes. To determine the effect of surface curvature on film cooling effectiveness, and a comparison of results obtained with the results of simulation modeling of flow of a plate with film cooling at the inlet cylindrical region. The studies were conducted at the magnitude of the blowing ration of 0.5 to 2.0. Dimensions calculation model and input data received characteristic of the high pressure turbine blades of high-temperature gas turbine engine. Modelling performed using software package ANSYS CFX. The result obtained by calculations that the presence of the cylindrical profiled surfaces instead of flat surface leads to a significant decrease in the average film cooling effectiveness, both cylindrical and the concave surfaces in the investigated range blowing ration values. For all blowing ration film cooling effectiveness parameter values on the suction side is much higher than the pressure side. At the same time, the average efficiency of the film cooling on the suction side when $m < 1.5$ is higher than on a plot of flat wall, and when $m > 1.5$ marginally below. Application dependencies obtained on models with flat walls, for the calculation of the film cooling efficiency of suction side and pressure side of the blades is only possible with such amendments as may be determined by the results of this work.

Key words: film cooling, blowing ration, leading edge, cooling system, pressure side, suction side.

Введение

Освоение высоких температур газа перед турбиной в современных газотурбинных двигателях (ГТД) стало возможным, в основном, за счет совершенствования систем охлаждения лопаточных венцов. Причем, развитие схем чисто конвективного охлаждения с применением микрооребрения, столбиков-турбулизаторов, струйного охлаждения и т. д. не позволяет обеспечить допустимый уровень температур для сопловых и рабочих лопаток первой ступени турбины без применения пленочного охлаждения. Применение пленочного охлаждения лопаток приводит к существенному увеличению отбора воздуха на охлаждение и ухудшает аэродинамику турбины. Поэтому вопрос повышения эффективности пленочного охлаждения с целью минимизации расхода охладителя является важной научно-технической задачей.

Большинство исследований систем пленочного охлаждения входной кромки проводились на модели плоской стенки с начальным цилиндрическим участком [1, 2]. Такая геометрия обеспечивает близкие к реальным условиям распределения давления и скорости газа (потока) непосредственно в районе входной

кромки, однако на плоском участке модели, где происходит релаксация потока, продольные градиенты скоростей и давлений, обусловленные кривизной профиля, отсутствуют. Следовательно, результаты исследования, полученные на модели с плоской стенкой, могут оказаться непригодными для расчетов эффективности пленочного охлаждения реальной лопатки на удалении от входной кромки.

Цель работы

Цель работы заключается в количественной оценке влияния кривизны профиля реальной лопатки на эффективность пленочного охлаждения при выдуве воздуха на входной кромке, а также в определении возможностей применения зависимостей полученных на моделях с цилиндрическим начальным участком и последующей плоской стенкой для расчетов эффективности пленочного охлаждения конкретных лопаток.

Следует отметить, что исследования влияния кривизны поверхности на эффективность пленочного охлаждения выполнялись и ранее. Так, в [3] показано, что при $m < 1$ на вогнутой поверхности эффективность пленочного

© В. Ю. Петельчиц, Д. Н. Письменный, Ю. Я. Дашевский, 2016

охлаждения меньше, чем на плоской стенке, а на выпуклой больше; при $m > 1$ кривизна поверхности влияет противоположным образом. Вместе с тем, количественных оценок влияния кривизны поверхности в открытой литературе мало, причем имеющиеся данные очень разнятся. Данных об эффективности пленочного охлаждения на криволинейной поверхности профиля лопатки при выдуве воздуха через ряды отверстий на входной кромке вовсе не обнаружено.

Для исследования выбран метод *CFD*-моделирования, который позволяет учесть влияние большого количества факторов на эффективность пленочного охлаждения и «тонкие» особенности физической структуры течения, и при этом характеризуется достаточной точностью расчета.

В качестве базы для сравнения выбрана модель плоской стенки с трехрядной системой цилиндрических отверстий на входном цилиндрическом участке.

Геометрические размеры и основные газодинамические параметры для исследования были приняты типичными для рабочей лопатки турбины высокого давления, профиль которой получен методом оптимизированной кривизны. Диаметр отверстий $d = 0,5$ мм, относительный шаг отверстий по высоте $t/d = 4$; угол отклонения осей бокового отверстия $\alpha = 30^\circ$ ($x/d = 2,62$) в плоскости сечения; угол наклона отверстий к охлаждаемой поверхности в вертикальной плоскости – $\beta = 30^\circ$; отношение диаметра отверстий к диаметру входной кромки – 0,1 (см. рис. 1).

Методика выполнения расчета

Предварительно была выполнена верификация *CFD*-расчетов по экспериментальным данным [4], которая подробно описана в [5]. При этом также были отработаны основные подходы к созданию расчетной сетки. На основании верификационных расчетов была выбрана *SST*-модель турбулентности, которая дает наилучшее совпадение результатов расчета с экспериментальными дан-

ными. Все эти данные были использованы для настоящих исследований.

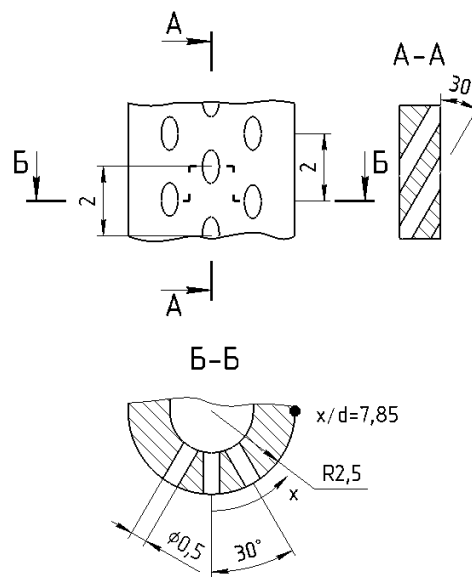


Рис. 1 – Конфигурации отверстий пленочного охлаждения для двух моделей

Для моделирования с помощью программного комплекса были созданы геометрические 3D модели, с высотами равными двум шагам отверстий. Первая модель включает в себя полость подвода охлаждающего воздуха, отверстия пленочного охлаждения, область обтекания плоской стенки с начальным цилиндрическим участком (рис. 2а). Вторая модель, вместо области обтекания плоской стенки, включает в себя область межлопаточного канала (рис. 2б). В районе непосредственно входной кромки обе модели идентичны.

Для двух моделей с помощью *ANSYS ICEM CFD 14.5* были созданы тетраэдрические расчетные сетки со сгущением в районе отверстий пленочного охлаждения и призматическим подслоем вблизи стенок. Для модели лопатки количество элементов расчетной сетки составляло 18,3 млн., а для плоской модели – 21,3 млн. Обе сетки обеспечивали величину безразмерного расстояния y^+ не более 1,0, что удовлетворяет требованиям *SST* модели турбулентности [6].

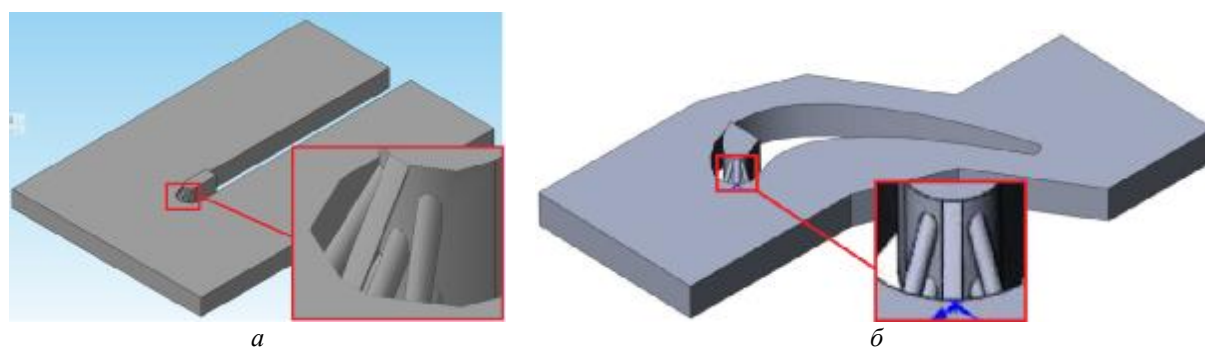


Рис. 2 – Геометрические модели: а – обтекания плоской стенки; б – обтекания лопатки

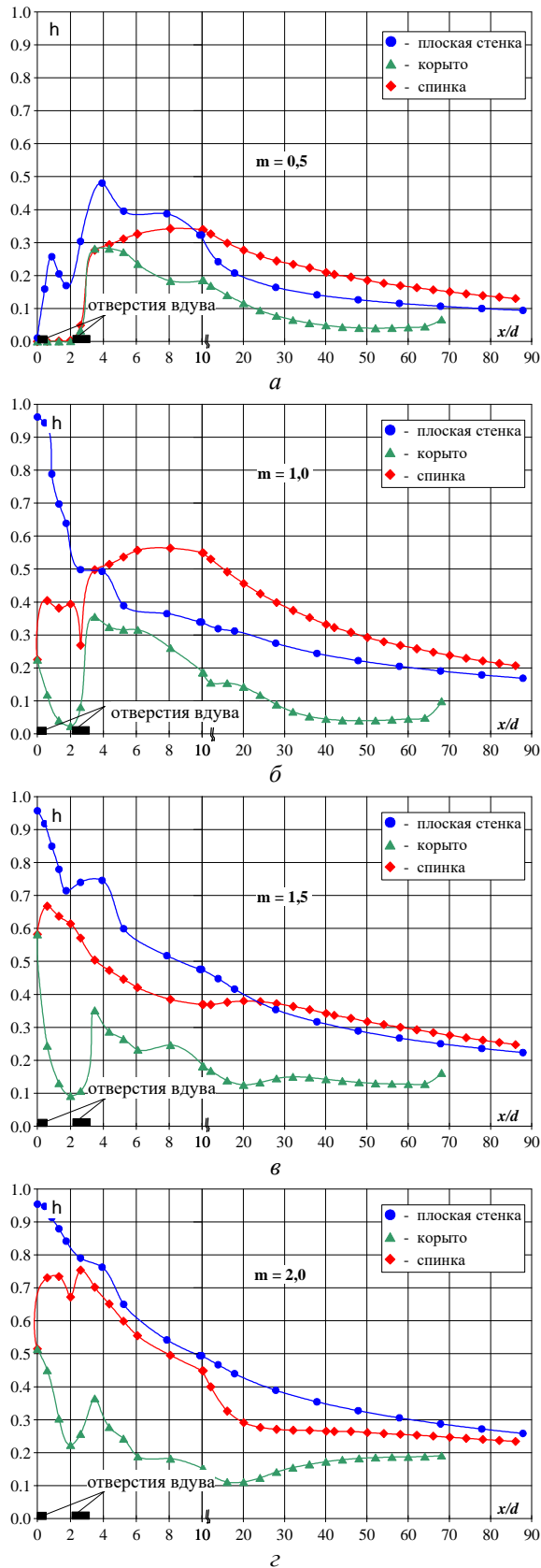


Рис. 3 – Распределение осреднённой в поперечном направлении эффективности плёночного охлаждения по профилю лопатки при: а – $m = 0,5$; б – $m = 1,0$; в – $m = 1,5$; г – $m = 2,0$

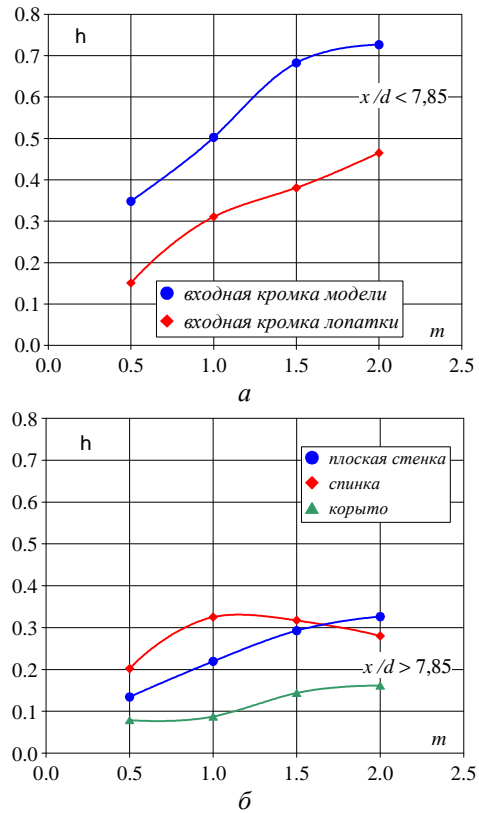


Рис. 4 – Сравнение эффективности плёночного охлаждения для двух моделей: а – характерных участков входной кромки; б – последующей поверхности

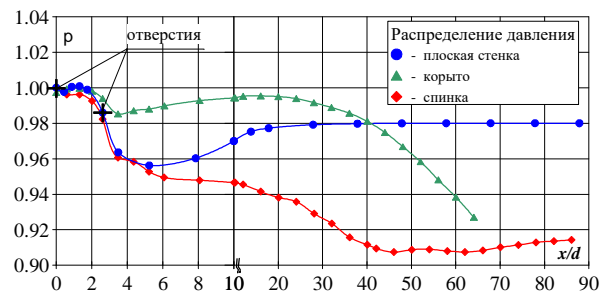


Рис. 5 – Распределение давления по профилю лопатки

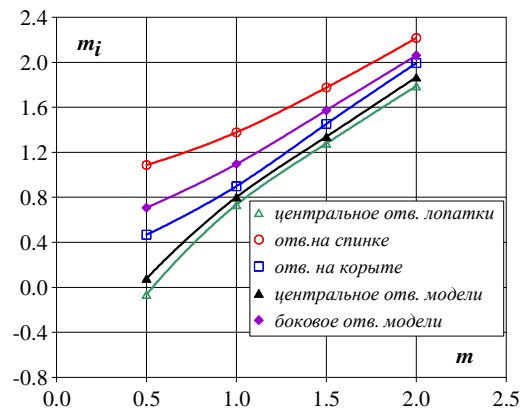


Рис. 6 – Сравнение локальных параметров вдува для двух моделей

В качестве исходных данных для расчетов двух моделей задавались одинаковые граничные условия, характерные рабочей лопатки турбины высокого давления:

– скорости основного потока на входе соответствуют числу Рейнольдса по диаметру входной кромки, равному 50000;

– статические давления основного потока на выходе задавались из условия обеспечения на входе давления $P = 1,2$ МПа;

– температуры основного и вдуваемого потоков 1500 °С и 600 °С, соответственно;

– охлаждаемая поверхность задавалась, как адиабатическая стенка.

Свойства воздуха для основного и вдуваемого потоков задавались переменными от температуры по данным [7].

Расход вдуваемого воздуха задавался в соответствии с одним из четырех исследуемых параметров вдува $m = 0,5; 1,0; 1,5$ и $2,0$, который в данном случае определялся как:

$$m = \frac{G_b / (F_b)}{\rho_r W_r}, \quad (1)$$

где G_b – суммарный расход охлаждающего воздуха через шесть отверстий;

F_b – суммарная площадь поперечных сечений шести отверстий;

ρ_r, W_r – соответственно плотность и скорость основного потока (на входе в расчетную модель).

Таким образом, в расчетах величина m принималась общей для всех трех рядов отверстий.

По результатам расчета в каждой точке охлаждаемой поверхности определялась локальная эффективность пленочного охлаждения

$$h\phi = \frac{T_r - T_{ад}}{T_r - T_b}, \quad (2)$$

где T_r, T_b – полные температуры основного потока (газа) и охлаждающего воздуха, соответственно; $T_{ад}$ – адиабатическая температура стенки (защитаемой поверхности).

Для получения распределения эффективности пленочного охлаждения по профилю использована осредненная в поперечном направлении эффективность пленочного охлаждения

$$h = \frac{1}{2t} \oint h\phi Z, \quad (3)$$

где t – шаг отверстий в поперечном направлении.

Результаты расчета

Распределение осредненной в поперечном направлении эффективности пленочного охлаждения участка спинки и корыта для модели лопатки, в сравнении с вариантом модели плоской стенки, представлено на рис. 3. По результатам расчетов видно значительное перераспределение эффективности пленочного охлаждения между

вогнутой (корыто) и выпуклой (спинка) поверхностями профиля лопатки.

При величине параметра вдува $m = 0,5$ на модели лопатки воздух из центрального ряда отверстий на охлаждение не поступает, а даже имеет место затекание основного потока (горячего газа). Эффективность пленочного охлаждения на участке входной кромки до $x/d = 2,62$ со стороны спинки и корыта равна нулю. В то же время на модели с плоскими стенками расход воздуха через этот ряд отверстий близок к нулю, а эффективность пленочного охлаждения на участке $x/d \in 2,62$ составляет от 0 до 0,27. Непосредственно за боковыми рядами отверстий значения эффективности пленочного охлаждения для модели лопатки по спинке и корыту близки между собой и достигают 0,28. На удалении от входной кромки при $x/d > 10$ осредненная эффективность пленочного охлаждения на спинке существенно выше, чем на плоской пластине, а на корыте – ниже.

При $m = 1,0$ в модели лопатки воздух из центрального ряда отверстий в основном обеспечивает пленочное охлаждение спинки. Со стороны корыта перед вторым рядом отверстий эффективность пленочного охлаждения даже близка к нулю. В то же время для модели с плоской стенкой при $x/d = 10$ эффективность пленочного охлаждения составляет 0,95. При $x/d > 10$ сохраняется та же тенденция, что и при $m = 0,5$.

Однако в случае $m = 1,0$ уровень эффективности пленочного охлаждения на плоской поверхности и на спинке выше, чем при $m = 0,5$, а на корыте остается на том же уровне.

При $m = 1,5$ и $m = 2,0$ значения эффективности пленочного охлаждения на участке $0 < x/d \in 7,85$ на модели лопатки так же существенно ниже, чем на модели с плоскими стенками. При $m = 1,5$ и $x/d < 25$ эффективность пленочного охлаждения на спинке ниже, чем на плоской стенке, а при $x/d > 25$ – несколько выше. При $m = 2,0$ величина эффективности пленочного охлаждения на спинке ниже, чем на плоской пластине во всем диапазоне x/d .

На рис. 4 представлено влияние параметра вдува на значения эффективности пленочного охлаждения, осредненные на характерных участках: на цилиндрическом участке входной кромки ($0 < x/d \in 7,85$) и на последующем участке за входной кромкой ($x/d > 7,85$).

Как видно из рис. 4а, осредненная эффективность пленочного охлаждения на участке входной кромки лопатки при всех значениях m в 1,6...2,3 раза ниже, чем на входной кромке модели с плоскими стенками. На участке $x/d > 7,85$ средняя эффективность пленочного охлаждения на корыте также в 1,7...2,5 раза ниже, чем на плоской стенке. В то же время, средняя эффективность пленочного охлаждения на участке спинки при $m \in 1,5$ выше, чем на плоской стенке, в частности, при $m = 1,0$ выше в 1,5 раза, а при более высоких значениях m – несколько ниже. Для всех значений

параметра вдува ефективність пленочного охолодження на участку спинки значительно выше, чем на участку корыта. При $m = 1,0$ средняя величина эффективности пленочного охолодження на спинке более чем в 3 раза (!) превышает среднюю величину на корыте.

Эти данные, в целом, согласуются с данными [3], а также показывают весьма значительные расхождения в величинах, как средних, так и локальных значений эффективности пленочного охолодження с соответствующими величинами на плоских стенках.

Для анализа причин отмеченных расхождений на рис. 5 представлено распределение относительного давления в виде газодинамической функции $p(l)$ по профилю лопатки. Как видно из рисунка, несмотря на близость боковых рядов отверстий к точке торможения потока, для бокового ряда отверстий по корыту давление на выходе превышает соответствующее значение давления для ряда отверстий со стороны спинки. В тоже время давление на выходе из ряда отверстий со стороны спинки незначительно отличается от давления на выходе из боковых рядов отверстий модели с плоской стенкой. Такое перераспределение давлений на выходе между рядами отверстий приводит к соответствующему перераспределению расходов охлаждающего воздуха, а сохранение суммарного расхода воздуха через все три ряда отверстий приводит к изменению расходов воздуха даже в тех рядах, где давление на выходе неизменно.

На рис. 6 представлены данные по локальным параметрам вдува (m_i), определенным по расходам воздуха через каждый ряд отверстий для двух рассматриваемых моделей, в зависимости от общего параметра вдува.

Для центральных рядов отверстий для двух моделей значения локального параметра вдува практически одинаковы во всем диапазоне значений m . Величина m_i для ряда со стороны корыта в диапазоне $0,5 < m < 2,0$ в 1,03...1,5 раза ниже, чем для бокового ряда отверстий на модели с плоскими стенками. Для ряда отверстий со стороны спинки, напротив, m_i в том же диапазоне значений m в 1,07...1,53 раза выше, чем для плоской стенки. Максимальные расхождения соответствуют параметру вдува $m = 0,5$.

Таким образом, столь значительные расхождения в величинах эффективности пленочного охолодження по спинке и корыту, особенно при $m > 1$, не могут быть объяснены только перераспределением охладителя между рядами отверстий. Следовательно, отмеченное явление обусловлено влиянием кривизны, градиентами скорости и давления на стенках лопатки.

Из этой работы также следует, что использование зависимостей, полученных на модели с плоскими поверхностями, возможно только с поправками, которые могут быть

определены по данным, представленным на рис. 3 и 4.

Выводы

1 Наличие профилированных поверхностей за цилиндрической поверхностью вместо плоских приводит к значительному снижению средней эффективности пленочного охолодження, как на цилиндрической, так и на вогнутой поверхности в исследуемом диапазоне значений параметра вдува от 0,5 до 2,0.

2 На участке $x/d > 7,85$ средняя эффективность пленочного охолодження на корыте в 1,7...2,5 раза ниже, чем на плоской стенке. В тоже время, средняя эффективность пленочного охолодження на участку спинки при $m \leq 1,5$ выше, чем на плоской стенке. Для всех значений параметра вдува эффективность пленочного охолодження на участку спинки значительно выше, чем на участку корыта. При $m = 1,0$ средняя величина эффективности пленочного охолодження на спинке более чем в 3 раза (!) превышает среднюю величину на корыте.

3 Применение зависимостей, полученных на моделях с плоскими стенками, для расчета эффективности пленочного охолодження участков спинки и корыта лопаток возможно только с поправками, которые могут быть определены по результатам настоящей работы.

Список литературы

- 1 Liu, C. Experimental investigation on the leading edge film cooling of cylindrical and laid-back holes with different hole pitches [Электронный ресурс] / C. Liu, H. Zhu, Z. Zhang // ASME Turbo Expo 2012, Copenhagen, Denmark, June 11-15, 2012, Turbine Technical Conference & Exposition, Order No. 1887DV. – ASME Paper № GT2012-68027. – 12 p. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.
- 2 Sakai, E. Numerical study on flat plate and leading edge film cooling [Электронный ресурс] / E. Sakai, T. Takahashi, K. Funazaki, H. Salleh, K. Watanabe // ASME ASME Turbo Expo 2009, Orlando, FL USA, June 8-12, 2009, Turbine Technical Conference & Exposition, ISBN 978-0-7918-3849-5, Order No. 1816DV. – 2009. – ASME Paper №GT2009-59517. – 13 p. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска.
- 3 Локай, В. И. Теплопередача в охлаждаемых деталях газотурбинных двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. И. Локай, М. Н. Бодунов, В. В. Жуиков, А. В. Щукин. – М.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
- 4 Мик, У. Дж. Завесное охлаждение и теплообмен на лобовой части затупленного тела (включая участок расположения отверстий вдува) [Текст] / У. Дж. Мик, Р. Е. Мейл // Современное машиностроение, серия А. – 1989. – № 1. – С. 71–80.
- 5 Петельчиц, В. Ю. CFD-Моделирование пленочного охолодження пластины с входным цилиндрическим участком [Текст] / В. Ю. Петельчиц // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків.: НТУ «ХП», 2014. – № 11(1054). – С. 82–89. – Бібліогр. : 7 назв. – ISSN 2078-774X.

- 6 Turbulence and Near-Wall Modeling (2014) / ANSYS CFX-Solver Modeling Guide // ANSYS CFX Release 11.0. – ANSYS Europe Ltd. [Электронный ресурс]. – P. 97–132. – Режим доступа // Modeling Guide // 4. Turbulence and Near-Wall Modeling. – 11.01.2015.
- 7 **Варгафтик, Н. Б.** Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / **Н. Б. Варгафтик.** – М. : Физматгиз, 1972. – 720 с.
- 4 **Mick, W. J and Mayle, R. E.** (1989), ²Zavesnoe ohlazhdenie i teploobmen na lobovoj chasti zatuplennogo tela (vključajaja uchastok raspoložhenija otverstij vduva) [Stagnation Film cooling and heat transfer, including its effect within the hole patten]², *Sovremennoe mashinostroenie*, Ser. A, no. 1, pp. 71–80.
- 5 **Petelchys, V Y.** (2014), ²Modelirovanie plenochnogo ohlazhdenija plastiny s vhodnym cilindricheskim uchastkom [CFD Simulation of the Film Deposition of the Plate with Input Cylindrical Section]², *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 11(1054), pp. 82–89, ISSN 2078-774X.
- 6 Turbulence and Near-Wall Modeling (2014) / ANSYS CFX-Solver Modeling Guide // ANSYS CFX Release 11.0. – ANSYS Europe Ltd. [Electronic]. – P. 97–132. // Modeling Guide // 4. Turbulence and Near-Wall Modeling. – 11.01.2015.
- 7 **Vargaftik, N. B.** (1972), *Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej [Handbook of thermophysical properties of gases and liquids]*, Fizmatgiz, Moscow, Russia.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Liu, C., Zhu, H. and Zhang, Z.** (2012), ²Experimental investigation on the leading edge film cooling of cylindrical and laid-back holes with different hole pitches², Turbo Expo 2012, Copenhagen, Denmark, June 11-15, 2012, *Turbine Technical Conference & Exposition* [Electronic], ASME Paper № GT2012-68027, 12 p.
- 2 **Sakai, E., Takahashi, T., Funazaki, K., Salleh, H. and Watanabe, K.** (2009), ²Numerical study on flat plate and leading edge film cooling², ASME ASME Turbo Expo 2009, Orlando, FL USA, June 8-12, 2009, *Turbine Technical Conference & Exposition* [Electronic], ASME Paper №GT2009-59517, 13 p.
- 3 **Lokay, V. I., Bodunov, M. N., Dgykov, V. V. and Shukin, A.V.** (1985), *Teploperedacha v ohlazhdaemyh*

Сведения об авторах (About authors)

Петельчиц Виктория Юрьевна – инженер-конструктор отдела турбин ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект», г. Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua, vypete@e-mail.ua.

Petelchys Victoria Yuriyevna – design-engineer of the turbine department GT RPC ²Zorya² - ²Mashproekt², Nikolaev, Ukraine, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua, vypete@e-mail.ua.

Письменный Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук; ведущий инженер-конструктор отдела турбин ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект», г. Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.

Pysmennyi Dmitriy Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Leading design-engineer of the Turbine Department GT RPC ²Zorya² - ²Mashproekt², Nikolaev, Ukraine, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.

Дашевский Юрий Яковлевич – кандидат технических наук; начальник сектора тепловых и гидравлических расчётов отдела турбин ГП НПКГ «Зоря» - «Машпроект», г. Николаев, Украина, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.

Dashevskyy Yuriy Yakovlevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Head of Heat Transfer and Hydraulics Calculations Sector of Turbine Department GT RPC ²Zorya² - ²Mashproekt², Nikolaev, Ukraine, e-mail: spe@mashproekt.nikolaev.ua.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Петельчиц, В. Ю. Оценка влияния кривизны поверхности на эффективность пленочного охлаждения [Текст] / **В. Ю. Петельчиц, Д. Н. Письменный, Ю. Я. Дашевский** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 50–55. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.07.

Please cite this article as:

Petelchys, V., Pysmennyi, D. and Dashevskyy, Y. (2016), Evaluation of the Influence on the Efficiency Curvature of the Surface Film Cooling, *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 9(1181), pp. 50–55, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.07.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Петельчиц В.Ю. Оцінка впливу кривизни поверхні на ефективність плівкового охолодження [Текст] / **В.Ю. Петельчиц, Д.М. Письменный, Ю.Я. Дашевський** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 50–55. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.07.

АНОТАЦІЯ У роботі наведено результати чисельного моделювання плівкового охолодження робочої лопатки турбіни при подачі охолоджувача на ділянку вхідної кромки через три ряди циліндричних отворів. З метою визначення впливу кривизни поверхні на ефективність плівкового охолодження, виконано порівняння отриманих результатів моделювання з результатами моделювання обтікання плоскої пластини з плівковим охолодженням вхідної циліндричної ділянки. Дослідження проводилися при величинах параметра вдуву від 0,5 до 2,0. Розміри розрахункової моделі і вихідні дані прийнятні характерними для лопатки турбіни високого тиску високотемпературного ГТД. Моделювання виконано за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX.

Ключові слова: плівкове охолодження, параметр вдуву, вхідна кромка, система охолодження, спинка, корито.

Поступила (received) 08.01.2016