

шемся режиме с нестационарным тепловым состоянием и на установившемся импульсном режиме работы.

При расчёте импульсного режима получена большая амплитуда по температуре на внутренней поверхности КС (рис. 1): на первых импульсах амплитуда температуры составляет 75-100К при времени импульса 0,5 с.

Показано, что тепловое состояние КС ЖРДМТ на установившемся импульсном режиме сильно зависит от основных показателей импульсного режима: времени импульса и времени паузы между включениями.

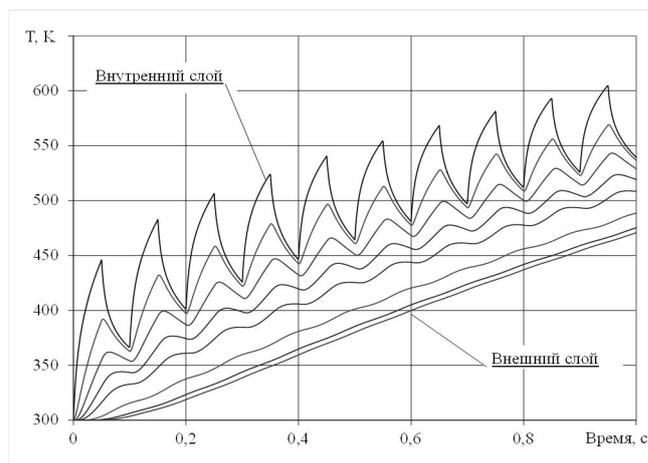


Рис. 1. Тепловое поле стенки камеры сгорания в критическом сечении по времени при импульсе 0,05 с и времени паузы 0,05 с для случая 20% завесы горючего,  $\tau = 0,85$ .

УДК 621.432.263.5

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПОРИСТОМ ВДУВЕ

©2016 А.В. Гимбицкий, А.Г. Каримова, С.Г. Дезидерьев, В.А. Ильяшенко

Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ

### RESEARCH RESULTS ON HEAT TRANSMISSION AND HEAT PROTECTION EFFICIENCY FOR POROUS INJECTION

Gimbickii A.V., Karimova A.G., Dezider'ev S.G., Il'achenko V.A. (Kazan National Research Technical University named after A.N Tupolev– KAI, Kazan, Russian Federation)

*This work is devoted to the experimental study of the method of thermal protection of the environment by screening from the hot body of the high-temperature gas turbine engine on a model setup under conditions with the injection of air through a porous screen. The generalized dependence of thermal protection is obtained so that permit temperature of the screen and the casing injection air through a porous screen are predictable.*

Особенностью работы стационарных газотурбинных установок (ГТУ) является их продолжительная работа в условиях замкнутого пространства. В связи с этим возникает необходимость в эффективном отводе тепла из отсеков ГТУ, для того чтобы избежать перегревов различных узлов и элементов. Для этого применяются различные теплоизоляционные материалы и системы вентиляции [1,2].

В КАИ был предложен способ организации тепловой защиты с применением экранирования [3,4]. Для исследования эффективности тепловой защиты и теплопередачи была сконструирована экспериментальная модельная установка [5].

В процессе проведения опытов варьировались расход воздуха  $G_v$ , температура горячей стенки  $T_r$  и толщина воздушной прослойки  $\delta_r$ . Для каждого режима получены распределения температур как в воздушных прослойках по высоте, так и на поверхностях экрана и оболочки.

Тепловые потоки, входящие в уравнение теплового баланса системы, определялись по формулам Фурье и Ньютона. Обработка результатов замеров всех температур позволила определить коэффициенты теплоотдачи ко всем поверхностям, участвующим в процессе теплопередачи, а также эффективность тепловой завесы, создаваемой вдувом воздуха. [5]. Результаты опытов пред-

ставлены на приведенных ниже рисунках. Для всех рисунков приняты следующие обозначения:  $\square - \bar{T}_r = 2,0$ ;  $\circ - \bar{T}_r = 2,3$  К;  $\Delta - \bar{T}_r = 2,4$ ;  $\nabla - \bar{T}_r = 2,73$ ;  $\bullet - \bar{\delta}_r = 0,75$ ;  $\circ - \bar{\delta}_r = 0,56$ ;  $\ominus - \bar{\delta}_r = 0,4$ ;  $\bullet - \bar{\delta}_r = 0,2$ , где  $\bar{T}_r = T_r / T_{окр}$ ,  $\bar{\delta}_r = \delta_r / \delta$ .

Результаты опытов по теплоотдаче в обобщённом виде представлены на рис. 1. Видно, что обобщающая зависимость, представленная на графике в виде прямой, учитывает влияние температурного фактора и толщины прослоек и с удовлетворительной степенью точности аппроксимируется зависимостью [5]:

$$Nu_{cp} = 1,8 \cdot 10^3 Re_{cp}^{-0,9} \bar{T}_r^{1,3} \bar{\delta}_r^{-1,9}. \quad (1)$$

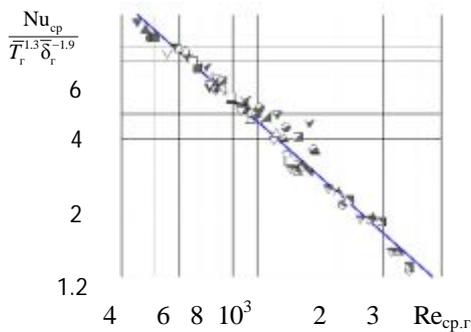


Рис. 1. Обобщённые результаты опытов по теплоотдаче к пористому экрану

Эффективность тепловой защиты экрана (2) и оболочки (3) при использовании пористого вдува рассчитывалась по формулам:

$$\theta_3 = \frac{T_r - T_{э,вн}}{T_r - T_{в,вх}}, \quad (2)$$

$$\theta_{об} = \frac{T_r - T_{об,нар}}{T_r - T_{окр}}. \quad (3)$$

В обобщённом виде Результаты опытов по эффективности тепловой защиты экрана в зависимости от чисел Рейнольдса для разных значений температурного фактора и толщин прослоек представлены на рис. 2.

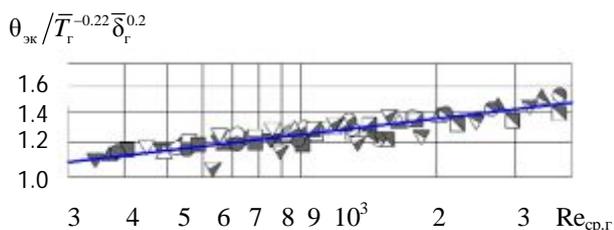


Рис. 2. Обобщённые результаты опытов по эффективности тепловой защиты пористого экрана

Получены зависимости для расчёта эффективности и температуры экрана [5]:

$$\theta_3 = 0,5 \cdot Re^{0,1} \left( \frac{T_r}{T_{в,вх}} \right)^{-0,22} \left( \frac{\delta_r}{\delta} \right)^{0,2}, \quad (4)$$

$$T_3 = T_r - 0,51 \cdot Re^{0,1} \left( \frac{T_r}{T_{в,вх}} \right)^{-0,22} \left( \frac{\delta_r}{\delta} \right)^{0,2} (T_r - T_{в,вх}).$$

Эффективность тепловой защиты наружной оболочке представлена на рис. 3 в виде зависимости  $\theta_{об} = f(Re_{cp})$ . Видно, что как температурный фактор  $\bar{T}_r$ , так и толщина прослойки  $\delta_x$  в холодной зоне практически не влияют на эффективность тепловой защиты оболочки, изменение расхода воздуха оказывает незначительное влияние.

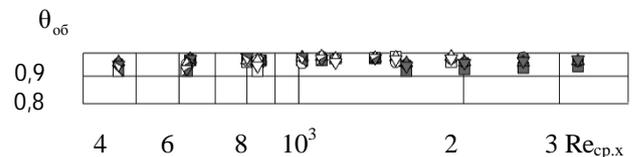


Рис. 3. Результаты опытов по эффективности тепловой защиты наружной оболочки

Результаты, представленные на рис. 3, обобщаются зависимостью [5]

$$\theta_{об} = 0,87 \cdot Re_{хол}^{0,01}. \quad (5)$$

Температура наружной оболочки:

$$T_{об} = T_r - 0,87 \cdot Re_{хол}^{0,01} (T_r - T_{окр}). \quad (6)$$

### Заключение

Температура пористого экрана и оболочки при даже малых расходах  $G_v$  стабильно удерживается вблизи приемлемых для эксплуатации значений.

Обобщение экспериментальных данных позволило получить уравнения для прогнозирования температуры наружной оболочки и экрана при создании завесы при варьировании величинами определяющих параметров: расходом воздуха ( $Re = var$ ), толщинами прослоек ( $\delta_r = var$ ,  $\delta_x = var$ ), значениями температурного фактора ( $\bar{T}_r = var$ ).

### Библиографический список

1. Чарнцев Д.А. «Исследование газодинамических характеристик шумотеплоизолирующего кожуха газотурбинной установки газоперекачивающего агрегата. С. 70-73.
2. Кирилаш Е.И., Костюк В.Е. Обеспечение теплового состояния оборудования турбокомпрессорного агрегата теплоизоля-

цией газотурбинного двигателя. // Ж. Технологический аудит и резервы производства - №3/1(23), 2015. С. 18-21.

3. Гимбицкий А.В., Дезидерьев С.Г., Каримова А.Г. Теплопередача при различных способах тепловой защиты в системах приводных ГТУ // Изв. вузов. Авиационная техника. 2011. № 3. С. 63.

4. Каримова А.Г., Дезидерьев С.Г., Зубарев В.М., Хабибуллин М.Г. Результаты

экспериментального исследования процессов теплообмена и эффективности тепловой завесы при пористом вдуве // ИВУЗ «Авиационная техника» №1, 2006. С. 37.

5. Гимбицкий А.В., Гильфанов Р.Н., Дезидерьев С.Г., Каримова А.Г. Влияние способа тепловой защиты на температурное состояние экрана и оболочки / Изв. ВУЗов «Авиационная техника», №4, 2015. С. 60-62.

УДК 621.438

## ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ДИАФРАГМ

©2016 А.Ю. Балакин<sup>1</sup>, О.В. Гречишников<sup>2</sup>, С.А. Лебедев<sup>2</sup>, А.Д. Росляков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup>Публичное акционерное общество «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

### BUCKPRESSURE INFLUENCE ON THE DISCHARGE COEFFICIENT OF THROTTLING ORIFICE

Balakin A.Y. (Samara State Transport University, Samara, Russian Federation),  
Grechishnikov O.V., Lebedev S.A., Roslyakov A.D. ("Kuznetsov" plc, Samara, Russian Federation)

*Have been supplied materials on the definition of the design characteristics of throttling apertures of gas turbine and terrestrial applications. Has been presented the effect on the flow characteristics of throttling apertures backpressure environment. The tests have found that the flow rate coefficient  $\mu$  in the system with backpressure is above 20...30% in comparison with a system without backpressure with the same pressure difference. In the experiment has been considered streaming as throw the hole with a sharp edge and chamfered at 0.5 ... 0.7 mm on the inlet edge. It has been proposed that determination the flow rate in the system backpressure make a correction, which depends on the pressure discharge coefficient.*

В топливных, масляных и дренажных системах газотурбинных двигателей (ГТД) и газотурбинных установок (ГТУ) широко применяются диафрагмы для дросселирования расходов жидких, газообразных и двухфазных потоков. Диафрагмы устанавливаются, в том числе, в каналах на входе в форсунки, коллекторы, горелки.

В настоящее время разработаны методы расчёта расхода газов и жидкостей через стандартные суживающие устройства и при истечении через отверстия [1].

При производстве дроссельных диафрагм испытания по проверке расходной характеристики выполняют на установках путём создания перепада давления на отверстии, организации истечения в свободное пространство и измерения давления перед отверстием. При функционировании диафрагм в составе двигателя истечение проис-

ходит в полость с противодействием. Экспериментально получено, что коэффициент расхода жидкости при истечении с подпором отличается от коэффициента истечения в свободное пространство.

При оценке потерь давления в потоке жидкости при внезапном сужении и расширении сечения учитывают с использованием коэффициента местного сопротивления [1]. Метод определения коэффициента сопротивления основан на учёте так называемых потерь на «удар». Коэффициент местного сопротивления удара в случае турбулентного течения ( $Re = (w_0 d) / \nu > 10^4$ ) зависит только от отношения площадей узкого и широкого сечений  $F_0/F_2$  и вычисляется по формуле Борда-Карно:

$$\xi_M = \frac{\Delta P_M}{\rho w_0^2 / 2} = \left(1 - \frac{F_0}{F_2}\right)^2.$$