

УДК 621.438

## ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОЙ ДИССИПАЦИИ АРГОНА, ПРОПАНА И ЭТАНА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРИСТОЙ ПЛАСТИНЫ

© 2014 Б.Е. Байгалиев<sup>1</sup>, А.Г. Тумаков<sup>2</sup>, Е.А.Тумаков<sup>1</sup>, А.И. Ибрагимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский научно-исследовательский технический университет –  
КАИ им. А. Н. Туполева

<sup>2</sup>«Энергомаш (Волгодонск) – Атоммаш»

Приводится информация об использовании дифференциального уравнения температурного поля пористой пластины, выведенного с учётом нагрева скелета за счёт действия сил трения при проталкивании охладителя через пористую пластину. Температурное поле пористой пластины определяется при различных значениях пористости и различных видах теплоносителя при граничных условиях третьего рода. Расчёт температурного поля пористой пластины с учётом диссипации осуществлён с помощью программ, составленных в Matlab. При пористости вставки 0,20 влияние вязкой диссипации присутствует, но пренебрежимо мало. Повышение пористости не приводит к значительным отличиям расчёта температурного состояния пористой вставки с учётом и без учёта вязкой диссипации. Учёт вязкой диссипации в расчёте на тепловое состояние пористой вставки с пористостью более 0.2 не нужен. Установлено, что при уменьшении пористости матрицы наблюдается рост её температуры. Результаты расчёта показали, что изменение расхода теплоносителя к конечной границе матрицы может вызывать как увеличение, так и уменьшение температуры, что говорит о важности учёта вязкой диссипации и правильного подбора как расходов и пористостей, так и рода теплоносителя.

*Пористость, температурное поле, диссипация, теплоноситель, аргон, пропан, этан.*

Разработка новых газотурбинных двигателей (ГТД) с высоким кпд требует увеличения температуры продуктов сгорания. Теплозащита лопаток при этом возможна с использованием пористых вставок. Влияние вязкой диссипации энергии при течении газа через пористую вставку не учитывалось. При определённых условиях (тип охлаждающего газа, его расход, пористость вставки) охлаждающий газ может вместо охлаждения повысить температуру лопатки. В данной работе предлагается дифференциальное уравнение течения газа через пористую вставку с учётом вязкой диссипации и программа решения его в системе MatLab. Результаты расчёта показали, что при уменьшении пористости вставки до 0,02, а также при неизменной пористости и увеличении расхода (от 1 до 5 кг/(м<sup>2</sup>с)), температура вставки может уменьшаться и увеличиваться в зависимости от рода теплоносителя и сочетаний расходов и пористостей. При пористости вставки 0,20 влияние вязкой диссипации присутствует, но пренебрежимо мало. Повышение

пористости не приводит к значительным отличиям расчёта температурного состояния пористой вставки с учётом и без учёта вязкой диссипации. Значит учёт вязкой диссипации в расчёте на тепловое состояние пористой вставки с пористостью более 0.2 не нужен.

Выведенное уравнение описывает тепловое состояние пористой стенки и учитывает её подогрев за счёт трения охлаждающего газа о её поверхность. Показано, что возможны режимы течения теплоносителя, при которых его температура может превышать температуру пористой стенки. Кроме того, если температура теплоносителя выше температуры пористой стенки, тепловой поток будет направлен в сторону пористой стенки, и тем самым температура последней будет возрастать.

Учёт всех параметров и правильный выбор теплоносителя позволит более точно и экономично подойти к вопросу о тепловой защите лопаток турбины. Зная нужный конечный результат, можно получить чёткие характеристики пористой пластины, а также тип теплоносителя.

С помощью программы, написанной на языке MatLab, решается полученное уравнение при разных входных характеристиках и для различных теплоносителей. Результаты для наглядности представлены в виде графиков. Ранее рассматривались:  $H_2$ ,  $O_2$ , He,  $N_2$ ,  $CH_4$ , воздух, продукты сгорания при пористостях: 0,02; 0,05; 0,20 и расходах: 1, 2, 3, 4, 5 кг/(м<sup>2</sup>·с). В данной работе исследовались аргон (рис.1), пропан (рис.2) и этан (рис.3) в газообразном состоянии при тех же условиях. Ниже изложена математическая модель, описывающая температурное состояние пористой пластины:

$$q_{x+dx} - q_x - dq_0 + dq_{mp} = 0, \quad (1)$$

где

$$q_{x+dx} = -\lambda(1 - \Pi) \left( \frac{dt}{dx} \right)_{x+dx} = \lambda(1 - \Pi) \left( \frac{dt}{dx} + \frac{d^2t}{dx^2} \right)_x,$$

$$dq_0 = a_v(t - t_0)dx,$$

$$q_{mp} = -vdp = -\frac{dp}{\rho}.$$

Тогда (1) будет иметь вид:

$$-\lambda\bar{\rho} \frac{d^2t}{dx^2} + \alpha_0(t - t_0) + \frac{dp}{\rho dx} = 0. \quad (2)$$

Используем уравнение течения газа через пористое тело:

$$\lambda(1 - \Pi) \frac{d^2t}{dx^2} + \alpha_2(t - t_2) + \frac{\alpha\mu_2 G_2}{8\rho_{cp}\rho} + \frac{\beta G_0^2}{g^2 \rho_{cp}\rho} = 0.$$

Преобразуя систему уравнений, получаем уравнение вида:

$$\frac{d^3\bar{\Theta}_0}{d\bar{x}^3} + \bar{B} \frac{d^2\bar{\Theta}_0}{d\bar{x}^2} - \bar{A} \frac{d\bar{\Theta}_0}{d\bar{x}} = \bar{B}\bar{C}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{A} &= A\delta^2 = \frac{\alpha_v \delta^2}{\lambda\bar{\rho}}, \quad \bar{B} = B\delta = \frac{\alpha_v \delta}{c_{p_0} G_0}, \quad \bar{B}\bar{C} = BC \frac{\delta^3}{t' - t_f} = \\ &= \frac{\alpha_0 \alpha_v \mu_0 \delta^3 G_0}{c_{p_0} \lambda \bar{\rho} \rho_0^2 (t' - t_f)} + \frac{\alpha_v \beta_0 \delta^3 G_0^2}{c_{p_0} \lambda \bar{\rho} \rho_0^2 g (t' - t_f)}. \end{aligned}$$

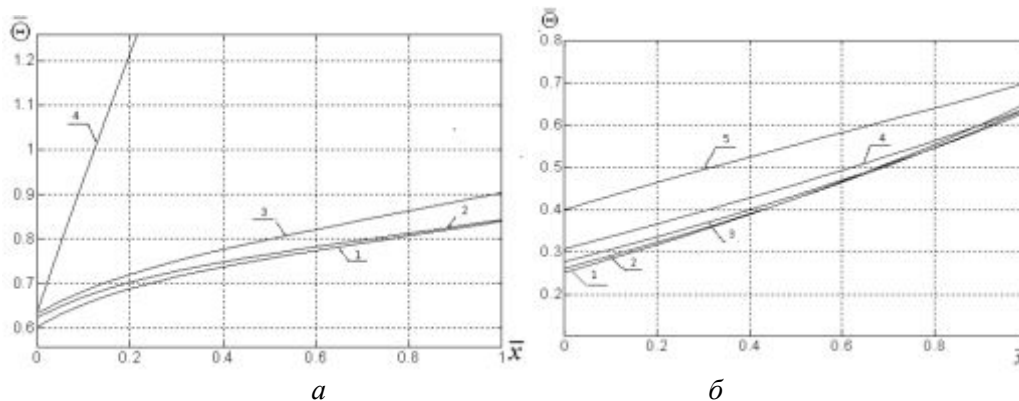


Рис. 1. Аргон: а) Влияние пористости при расходе аргона  $G=1$ :

1 -  $\Pi=0.2$ ; 2 -  $\Pi=0.1$ ; 3 -  $\Pi=0.05$ , 4 -  $\Pi=0.02$ ;

б) Влияние расхода аргона при  $\Pi=0.05$ : 1 -  $G_0=1$  кг/(м<sup>2</sup>·с); 2 -  $G_0=2$  кг/(м<sup>2</sup>·с),

3 -  $G_0=3$  кг/(м<sup>2</sup>·с), 4 -  $G_0=4$  кг/(м<sup>2</sup>·с), 5 -  $G_0=5$  кг/(м<sup>2</sup>·с)

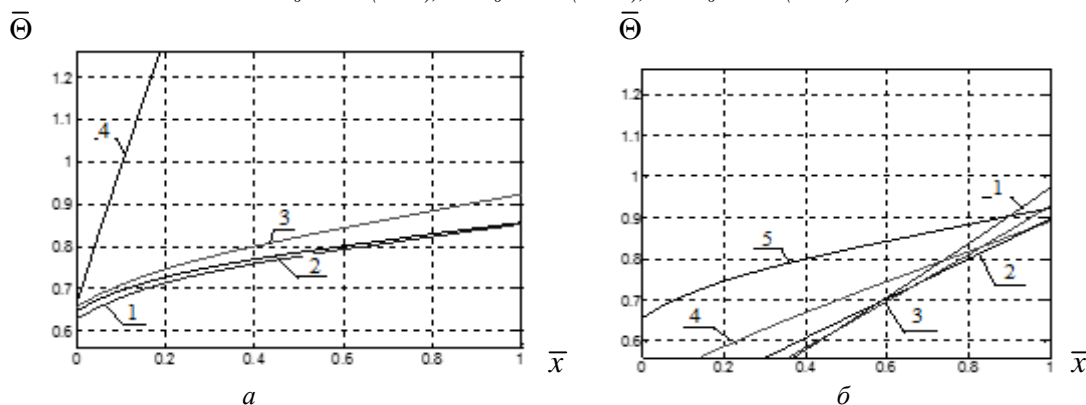


Рис.2. Пропан: а) Влияние пористости при  $G=1$ : 1 -  $\Pi=0.2$ ; 2 -  $\Pi=0.1$ ; 3 -  $\Pi=0.05$ , 4 -  $\Pi=0.02$ ;

б) Влияние расхода при  $\Pi=0.05$ : 1 -  $G_0=1$  кг/(м<sup>2</sup>·с); 2 -  $G_0=2$  кг/(м<sup>2</sup>·с), 3 -  $G_0=3$  кг/(м<sup>2</sup>·с),

4 -  $G_0=4$  кг/(м<sup>2</sup>·с), 5 -  $G_0=5$  кг/(м<sup>2</sup>·с)

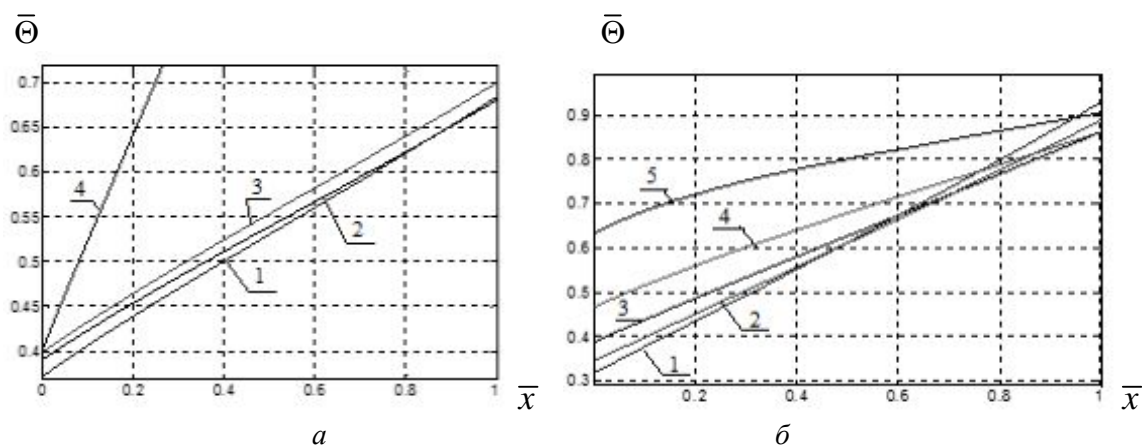


Рис. 3. Этан: а) Влияние пористости при расходе этана  $G=1$ :  
 1 -  $\Pi=0.2$ ; 2 -  $\Pi=0.1$ ; 3 -  $\Pi=0.05$ , 4 -  $\Pi=0.02$ ;  
 б) Влияние расхода при  $\Pi=0.05$ : 1 -  $G_0=1$  кж/(м<sup>2</sup>.с); 2 -  $G_0=2$  кж/(м<sup>2</sup>.с),  
 3 -  $G_0=3$  кж/(м<sup>2</sup>.с), 4 -  $G_0=4$  кж/(м<sup>2</sup>.с), 5 -  $G_0=5$  кж/(м<sup>2</sup>.с)

Решение уравнения (3):

$$\bar{\Theta}_0 = C_1 + C_2 e^{\alpha_2 \bar{x}} + C_3 e^{\alpha_3 \bar{x}} - \frac{\bar{B}\bar{C}}{A} \bar{x},$$

$$-\frac{\bar{B}\bar{C}}{A} = -\frac{\alpha_v \mu_0 \delta G_0}{c_{p_0} \rho_0^2 (t' - t_f)} + \frac{\beta_0 \delta G_0^2}{c_{p_0} \rho_0^2 g (t' - t_f)},$$

$$\alpha_{2,3} = -\frac{\alpha_v \delta}{c_{p_0} G_0} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha_v \delta}{c_{p_0} G_0}\right)^2 + \frac{\alpha_v \delta^2}{\lambda \bar{\rho}}}.$$

Из полученных результатов видно, что при уменьшении пористости матрицы увеличивается её температура.

При изменении расхода теплоносителя результаты расчёта показывают, что к конечной границе матрицы можно получить как увеличение, так и уменьшение температуры, что говорит о важности учёта вязкой диссипации и правильности подбора как расходов и пористостей, так и рода теплоносителя.

### Информация об авторах

**Байгалиев Борис Ергазович**, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева – КАИ. E-mail: [baigaliev@rambler.ru](mailto:baigaliev@rambler.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели.

**Тумаков Алексей Григорьевич**, кандидат технических наук, ведущий инженер по расчётам Отдела главного конструктора, Волгодонский филиал ЗАО Инжиниринговая компания «АЭМ-технологии». E-mail: [tumakov\\_ag@atomash.ru](mailto:tumakov_ag@atomash.ru). Область научных интересов: авиационные и ракетные двигатели.

**Тумаков Евгений Алексеевич**, аспирант кафедры теплотехники и энергетического машиностроения, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, E-mail: [tumakov\\_ag@atomash.ru](mailto:tumakov_ag@atomash.ru). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели, теплофизика.

**Ибрагимов Альберт Ильгизович**, магистрант, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н.Туполева – КАИ. E-mail: [albertnv@googlemail.com](mailto:albertnv@googlemail.com). Область научных интересов: теплофизика, тепловые двигатели.

## **INFLUENCE OF ARGON, PROPANE AND ETHANE VISCOUS DISSIPATION ON THE THERMAL STATE OF A POROUS PLATE**

© 2014 B.E. Baigaliev<sup>1</sup>, A.G. Tumakov<sup>2</sup>, E.A. Tumakov<sup>1</sup>, A.I. Ibragimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI,  
Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>«EnergoMash (Volgodonsk) – Atommash», Volgodonsk, Russian Federation

The report provides information of using a differential equation of the temperature field of the porous plate, derived taking into account the heating of the skeleton due to the forces of friction when pushing the coolant through the porous plate. Temperature field of the porous plate is determined for different values of porosity and different types of coolant under the boundary conditions of the third kind. Calculation of the temperature field of the porous plate, taking into account the dissipation implemented through programs compiled in Matlab. When the porosity of the insert 0,20 viscous dissipation effect is present, but negligible. Increasing porosity does not lead to significantly different calculation of the temperature condition of the porous insert with and without consideration of viscous dissipation. So keeping the viscous dissipation per thermal state of the porous insert with a porosity of more than 0.2 is not washed away. It was found that the porosity of the matrix is observed increase its temperature. Results showed that when the water flow to the final boundary of the matrix, we can observe both an increase and a decrease in temperature, which indicates the importance of taking account of viscous dissipation and proper selection of both costs and porosities, and the kind of coolant.

*Porosity, temperature field, dissipation, heat transfer fluid, argon, propane, ethane.*

### **About the authors**

**Baygaliev Ergazovich Boris**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Department of Thermal Engineering and Energy Engineering, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: baigaliev@rambler.ru. Area of Research: thermal physics, heat engines.

**Tumakov Aleksey Grigorievich**, Candidate of Science (Engineering), chief engineer for the calculations of the Chief Designer Volgodonsk branch JSC Engineering Company "AEM technology». E-mail: tumakov\_ag@atommash.ru. Area of Research: aviation and rocket engines.

**Tumakov Evgeniy Alekseevich** postgraduate student of Thermal Engineering and Energy Engineering, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: tumakov\_ag@atommash.ru. Area of Research: thermal physics, heat engines, thermal physics.

**Ibragimov Albert Ilgizovich**, graduate student, Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev – KAI. E-mail: albertnv@googlemail.com. Area of Research: thermal physics, heat engines.