

УДК 621.45.015

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА ТУРБИНЫ

© Волков А.А., Попов Г.М., Кудряшов И.А., Матвеев В.Н.

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

e-mail: a44rey@gmail.com

При проведении научно-исследовательских работ по заказу ПАО «Кузнецов» для отработки конфигурации сеточных моделей потока в лопаточных венцах (ЛВ) охлаждаемого соплового аппарата (СА) предприятием были предоставлены результаты экспериментального определения значений коэффициента пленочного охлаждения θ .

Для определения значений θ были выполнены испытания трех блоков СА, каждый из которых состоял из трех лопаток. Замеры температуры T_l проводились в 11 точках на поверхности центральных лопаток блоков СА.

В ходе эксперимента исследовалась эффективность только плёночного охлаждения входной кромки, корытца и спинки. Продувки блоков СА осуществлялись горячим воздухом с температурой на входе $t_2 = 850^\circ\text{C}$ ($T_2 = 1123\text{ K}$) при изоэнтропической скорости потока на выходе из СА $\lambda_{1s} = 0,92$ и критерии Рейнольдса $Re = 3,5 \cdot 10^6$.

Температура охлаждающего воздуха на входе в переднюю полость лопатки равнялась 380°C ($T_{охл} = 653\text{ K}$).

При испытаниях одного из блоков СА в двух точках на поверхности лопатки не удалось измерить температуру T_l . Поэтому при анализе результатов эксперимента эти точки не рассматривались. На основании определения средних температур $T_{л\text{ср}}$ были вычислены средние значения коэффициента эффективности охлаждения $\theta_{\text{ср}}$ в каждой из 9 точек на поверхности лопаток в соответствие с формулой:

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{T_2 - T_{л\text{ср}}}{T_2 - T_{охл}}.$$

Определение погрешностей эксперимента проводилось в соответствие с ГОСТ Р 8.736-2011 [1] и Рекомендациями МИ 2083-90 [2]. Значения коэффициента $\theta_{\text{ср}}$ и их погрешности представлены на рис. 1.

Анализ этих данных показал, что значения неисключённой систематической погрешности результата косвенного измерения $d(\theta_{\text{ср}})$ существенно меньше величин среднего квадратического отклонения $S(\theta_{\text{ср}})$ во всех точках измерений. Это, по-видимому, объясняется технологическими отклонениями изготовления лопаток (отверстий выдува охладителя и места их расположения) блоков СА.

Отношения значений неисключённой систематической погрешности $d(\theta_{\text{ср}})$ к величинам $S(\theta_{\text{ср}})$ не превышают 0,8, поэтому, в соответствие с Рекомендациями МИ

2083-90 [2], погрешностью $d(\theta_{cp})$ по сравнению со случайной погрешностью можно пренебречь и определять границы погрешности результата измерения θ_{cp} (без учёта знака) по формуле:

$$\Delta(\theta_{cp}) = tS(\theta_{cp}),$$

где t – коэффициент Стьюдента, который зависит от доверительной вероятности P , принятой равной 0,95, и числа результатов измерений $n = 3$.

В заключение следует отметить, что при отработке конфигурации объемных сеток для численного моделирования потока в ЛВ охлаждаемого СА целесообразно было бы иметь результаты эксперимента с меньшей погрешностью. Увеличение количества испытываемых блоков СА на один и два позволит сузить границы погрешности экспериментального определения θ_{cp} ориентировочно в 1,66 и 2,19 раза, обеспечив в первом случае (без учета знака) $\Delta(\theta_{cp})$ не более 0,10, а во втором – не более 0,073.

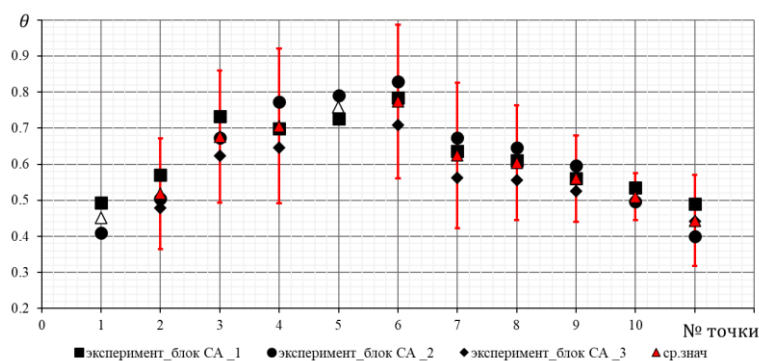


Рис. Результаты экспериментального определения значений коэффициента эффективности охлаждения и их границ погрешности

Библиографический список

- ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: дата введения 2011-12-13. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.
- МИ 2083-90. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: дата введения 1992-01-01. Комитет стандартизации и метрологии СССР. М.: Изд-во стандартов, 1991. 10 с.