

СПОСОБ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ГОРЛА ОХЛАЖДАЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА ТУРБИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Горячкин Е.С., Попов Г.М., [данные обезличены], Корнеева А.И.
Самарский университет, г. Самара, [данные обезличены]

Ключевые слова: сопловой аппарат, горло, численное моделирование.

В настоящее время все проектируемые лопаточные машины подлежат доводке и оптимизации. Обычно цель оптимизации – это повысить КПД, при этом ряд других параметров, например, расход воздуха, степень повышения давления, приведенные скорости на выходе из лопаточных венцов, строго контролируются. Одним из контролируемых параметров является размер горла лопаточного венца. Если известны параметры потока в горле, то для оценки площади горла можно использовать следующую формулу (1):

$$S = \frac{G \cdot \sqrt{T_0^*}}{p_0^* \cdot q(\lambda_0) \cdot m_G}. \quad (1)$$

Однако в случае охлаждаемого соплового аппарата, который обычно имеет сложную систему охлаждения, полная температура и относительная плотность тока являются неизвестными величинами. Кроме того, в процессе оптимизации геометрия соплового аппарата, а следовательно, и сечение горла, изменяются. Для решения данной проблемы предлагается следующий подход: для каждого изолированно смоделированного соплового аппарата без учета охлаждения обеспечивать сверхкритический перепад давления, а затем по формуле (1) рассчитывать горло.

В данной работе предложенный способ был апробирован на базе современной охлаждаемой двухступенчатой турбины высокого давления. Геометрическое горло было получено средствами программного комплекса Numeca Auto Blade. Газодинамическое горло было определено предложенным способом.

В ходе выполнения работы было измерено газодинамическое горло девяти вариантов геометрии лопаток исследуемой турбины высокого давления на моделях без охлаждения. Измерение осуществлялось следующим образом: создавалась изолированная модель, в которой был один сопловой аппарат. Геометрия сопловых аппаратов представлена на рис. 1.

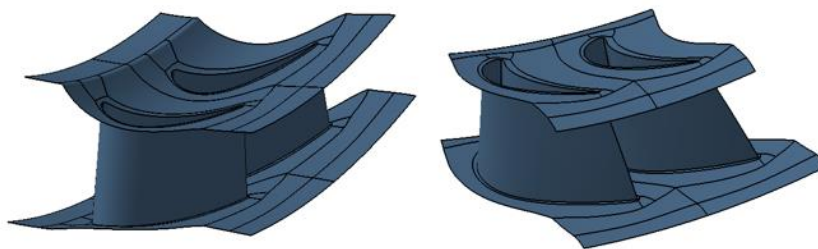


Рис. 1 – Геометрия сопловых аппаратов первой ступени (слева) и второй ступени (справа)

Численное моделирование осуществлялось в программном комплексе NUMECAFINE™/TURBO. Сеточная модель соплового аппарата содержала примерно 2 700 000 элементов и имела следующие характеристики:

- $y^+=1$ – безразмерный параметр, прямо пропорциональный размеру первого пристеночного элемента. Данный параметр обеспечивался подбором нужного размера первой ячейки;
- $ER=1,2$ – фактор роста ячеек, характеризующий во сколько раз высота последующей ячейки больше высоты предыдущей;
- $MR=1000$ – максимальная относительная высота ячеек канала, равная отношению максимальной высоты ячейки к минимальной высоте ячейки в канале.

Статическое давление на выходе подбиралось таким образом, чтобы обеспечить сверхкритический перепад давления, что означало равенство относительной плотности тока единице.

Затем было проведено сравнение величины геометрического и газодинамического горла. В результате была установлена следующая корреляция между геометрическим и газодинамическим горлом сопловых аппаратов: газодинамическое горло первого соплового аппарата было меньше геометрического на 6,7...8,5%. Газодинамическое горло второго соплового аппарата было больше геометрического на 4,8...5,7%. На рис. 2 представлены результаты подсчета горла газодинамическим и геометрическим способами.

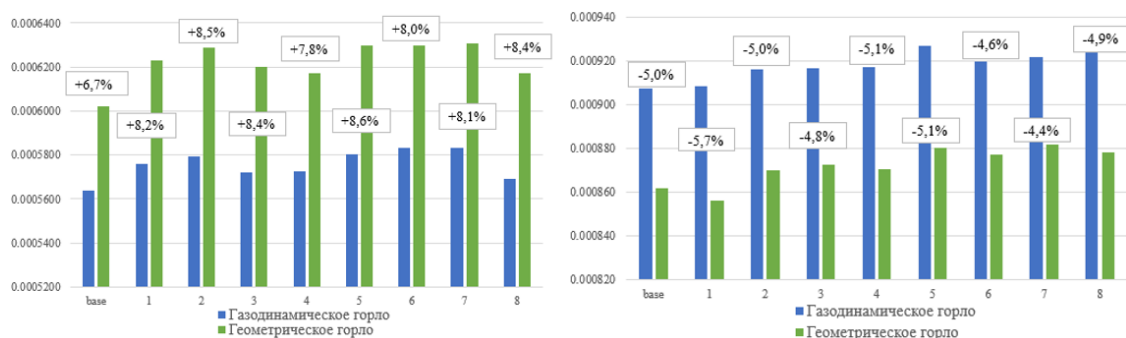


Рис. 2 – Значения горла первого соплового аппарата (слева) и второго соплового аппарата (справа), измеренными двумя способами

Полученные результаты объясняются тем, что поток имеет сложную структуру, которую непросто учесть при измерении горла предложенным способом. Однако в процессе оптимизации тенденция изменения горла, определенного геометрическим способом соответствует тенденции изменения горла, определенного предложенным газодинамическим способом; соответственно предложенный способ можно использовать для оценки площади горла охлаждаемого соплового аппарата турбины.

Сведения об авторах

Горячкин Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, младший научный сотрудник. Область научных интересов: численное моделирование рабочего процесса турбомашин.

Попов Григорий Михайлович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

[данные обезличены]

Корнеева Анастасия Ивановна, научный сотрудник. Область научных интересов: рабочие процессы турбомашин и ГТД, проектирование и численное моделирование лопаточных машин.

METHOD FOR ESTIMATING THROAT AREA OF NOZZLE VANE OF COOLED TURBINE USING GAS DYNAMIC MODELING

Goriachkin E.S., Popov G.M., [данные обезличены], Korneeva A.I.

Samara National Research University, Samara, Russia, [данные обезличены]

Keywords: nozzle vane, throat, numerical modeling.

The throat of the nozzle vane can be calculated using the aerodynamic formula and measured directly when creating a geometry model of vane. The latter takes a long time. In this work, the values of throats measured in different ways were compared.