

УДК 621.515.002

Ю.В.Кожухов (асп., каф. КВХТ), Ю.Б.Галеркин, д.т.н., проф.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРНОГО КОЛЕСА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ ОБТЕКАНИЯ НЕВЯЗКИМ КВАЗИТРЕХМЕРНЫМ ПОТОКОМ

Быстро развивающиеся численные методы все шире применяются при газодинамическом проектировании центробежных компрессоров. Кафедра КВХТ использует для этой цели разработанный метод универсального моделирования, с помощью которого созданы десятки успешных проектов новых компрессоров, в частности, для газовой промышленности. Указанный метод реализован в программе расчета квазитрехмерного невязкого обтекания ЗДМ.023.

Значения коэффициента теоретического напора, рассчитанного по программе ЗДМ.023 обозначаются как $\psi_{T_{ид}}$; значения коэффициента теоретического напора, полученного по результатам испытаний ступени обозначаются как ψ_T .

Отношение ψ_T и $\psi_{T_{ид}}$ обозначим как коэффициент K_M :

$$K_M = \psi_T / \psi_{T_{ид}} \quad (1)$$

Значения K_M для различных модельных ступеней в широком диапазоне работы находятся в интервале $K_M = 0,72-0,97$. Наименьшие значения K_M соответствуют максимальному расходу ступени $\Phi > \Phi_{расч}$ в рассматриваемом диапазоне. Здесь $\Phi_{расч}$ – расчетное значение условного коэффициента расхода.

Данная работа посвящена совершенствованию методики определения напорной характеристики $\psi_T = f(\Phi)$. Цель авторов – найти аналитическую зависимость для K_M с целью получения напорной характеристики $\psi_T = f(\Phi)$ с пригодной для практического применения точностью. С этой целью рассмотрен ряд формул расчета напорных характеристик $\psi_{TM} = f(\Phi)$, где ψ_{TM} – рассчитанная величина коэффициента теоретического напора, которая в идеале должна совпадать с измеренной величиной ψ_T . В соответствии с общим принципом математического моделирования формулы включают эмпирические коэффициенты X_i , численные значения которых приведены далее.

В данной работе рассматривались приведенные в табл. 1 модельные ступени. В табл. 1 представлены расчетные значения коэффициента расхода $\Phi_{расч}$ и коэффициента теоретического напора $\psi_{T_{расч}}$.

Таблица 1.

| Коэффициент | Ступень | | | | | | |
|-------------------|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | К101-4 | П028/575/37 | 048м | 055м | 060м | 064м | К101-1 |
| $\Phi_{расч}$ | 0,025 | 0,028 | 0,048 | 0,055 | 0,060 | 0,064 | 0,070 |
| $\psi_{T_{расч}}$ | 0,66 | 0,575 | 0,48 | 0,57 | 0,45 | 0,48 | 0,7 |

Все ступени имели безлопаточные диффузоры (БЛД). Ступень 048м испытывалась так

же в варианте с лопаточным диффузором, число лопаток которого равно 13. Ступень 064м испытывалась в трёх вариантах исполнения: отличие 2 и 3 вариантов от 1-го заключается в том, что форма входной кромки лопатки колеса в меридиональной плоскости выполнена не по прямой, а по радиусу от точки средней высоты лопатки на входе до покрывающего диска; 3-й вариант отличается от двух других меньшим значением диаметра втулки колеса $D_{вт}$.

Для подбора коэффициентов X_i была создана компьютерная программа на языке VISUAL BASIC. Подбор осуществляется методом покоординатного спуска – как для одной ступени с заданным режимом работы, так и для ряда ступеней и на различных режимах работы одновременно.

По результатам анализа соотношения между измеренными значениями коэффициентов напора на расчетном режиме $\psi_{T\text{ расч}}$ и рассчитанными по программе 3ДМ.023 $\psi_{Tид\text{ расч}}$ из дальнейшей работы были исключены две ступени: П028/575/37 и К101-1. Причиной этому послужило значительное завышение для этих ступеней значения $\psi_{Tид\text{ расч}}$. Ступень К101-1 проектировалась для работы при $M_u = 0,95$, а проанализированные данные соответствуют испытаниям при $M_u = 0,60$. Такое же отклонение имеет место и для ступени П028/575/37, у которой в отличие от других ступеней, форма лопаток в радиальной плоскости - дуга окружности.

Если исключить ступени К101-1 и П028/575/37 из рассмотрения, линейная зависимость $\psi_{T\text{ расч}} = f(\psi_{Tид\text{ расч}})$ дает достаточную для практических целей точность. Такая зависимость выражается следующим уравнением:

$$\psi_{T\text{ расч}} = \psi_{Tид\text{ расч}} - 0,035. \quad (2)$$

При нахождении формулы для расчета коэффициента теоретического напора на нерасчетных режимах было принято условие, что функция $\psi_T = f(\Phi)$ является линейной. Приемлемая аппроксимация экспериментальных значений получена при следующей структуре формулы:

$$\psi_T = (\psi_{Tид\text{ расч}} - 0,035) + X_3 \left(1 - \frac{\Phi}{\Phi_{\text{расч}}} \right). \quad (3)$$

Коэффициент X_3 не есть постоянная величина для различных ступеней, но зависит, главным образом, от коэффициента напора на расчетном режиме при невязком обтекании.

Приемлемую для практических расчетов точность дает линейная аппроксимация функции. С учетом уравнения для этой линии и формулы (2) искомая функция $\psi_T = f(\Phi)$ предстает в виде:

$$\psi_T = (\psi_{Tид\text{ расч}} - 0,035) + (0,852 - 0,86\psi_{Tид\text{ расч}}) \cdot \left(1 - \frac{\Phi}{\Phi_{\text{расч}}} \right). \quad (4)$$

Среднеарифметическая общая погрешность расчёта коэффициента теоретического напора по формуле (4) для рассмотренных ступеней равна $\delta = 2,06\%$.

В соответствии с (4), коэффициент теоретического напора при нулевом расходе ψ_{T0} равен:

$$\psi_{T0} = 0,14\psi_{Tид\text{ расч}} + 0,817 \quad (5)$$

Предложенная методика уточняет расчет напорной характеристики ступеней с параметрами, характерными для современных модельных ступеней кафедры КВХТ. Расширение такого подхода на более широкий круг ступеней и режимов работы является целью дальнейшей научной работы в данном перспективном направлении.