

В завершении расчетов формируется таблица координат в единой системе для вывода ее на печать в форме, позволяющей использовать таблицу непосредственно при выпуске чертежа плана профилей лопатки.

## ВЫВОД

В данной работе изложены методические основы комплексной программы профилирования, объединяющей все виды расчетов на этом этапе проектирования компрессора. Такая программа значительно сокращает время профилирования лопаток осевого компрессора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич З. Р. О погрешностях профилирования лопаток осевого компрессора по методу плоских сечений. См. постоянный сборник.
2. Гегин А. Д. Влияние удлинения лопаток на свойства ступени осевого компрессора. В сб.: «Промышленная аэродинамика». Вып. 29. М., «Машиностроение» 1973.
3. Eastman N. Jacobs, Tenneth E. Ward. Robert M. Pinkerton. The characteristics of 78 Related Airflow sections from tests in the variable-density wind Tunnel. Report N 460, NACA, 1934.
4. Бунимович А. И., Святогоров А. А. Аэродинамические характеристики плоских компрессорных решеток при большой дозвуковой скорости. В сб.: «Лопаточные машины и струйные аппараты». Вып. 2. М., «Машиностроение», 1967.
5. Стечкин Б. С. Теория реактивных двигателей. Лопаточные машины. М., «Оборонная промышленность», 1956.
6. Довжик С. А. Профилирование лопаток осевого дозвукового компрессора. В сб.: «Промышленная аэродинамика». Вып. II. М., Оборонгиз, 1958.
7. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Изд. 8-е, М., Гос изд-во технико-теоретической литературы, 1953.

## З. Р. Гуревич

### **О ПОГРЕШНОСТЯХ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ПО МЕТОДУ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ**

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $XYZ$  — единая прямоугольная система координат лопатки ( $X$  — ось вращения компрессора,  $Z$  — радиальная ось лопатки;  $Y$  — ось, направленная в сторону выпуклой поверхности лопатки);
- $xu$  — собственная система координат отдельного профиля с началом у передней кромки (ось  $x$  совпадает с хордой, ось  $u$  направлена в сторону прогиба профиля);
- $\alpha$  — угол между вектором скорости и плоскостью  $XU$ ;
- $\alpha_k$  — конструктивный угол профиля (угол между касательной к средней линии профиля и плоскостью  $XU$ );

- $\Delta z_k$  — разница между конструктивными углами конического и нормального плоского профилей, исходящих из общей точки кромки, в проекции на плоскость  $XU$ ;  
 $\psi$  — угол наклона образующей поверхности тока к оси компрессора;  
 $r$  — радиус;  
 $r_k$  — наружный радиус лопаточного венца;  
 $b$  — хорда;  
 $\gamma$  — угол установки профиля (между хордой и осевым направлением);  
 $\lambda$  — угол между касательной к средней линии профиля и его хордой;  
 $\bar{f}$  — прогиб средней линии профиля, отнесенный к хорде;  
 $\bar{h}$  — удлинение лопатки (отношение высоты к хорде);  
 $\bar{x}, \bar{y}$  — координаты собственной системы, отнесенные к хорде;  
 $r, z, b$  — размеры, отнесенные к наружному радиусу венца;  
 $\pi^*$  — степень повышения полного давления;  
 $\bar{H}_T$  — коэффициент теоретического напора.

## ИНДЕКСЫ

- 1 — передняя кромка, вход в решетку;  
 2 — задняя кромка, выход из решетки;  
 0 — точка связки профилей;  
 пл — плоское сечение, нормальное к оси  $Z$ ;  
 пр — проекция на плоскость  $XU$ .

Поверхности тока в лопаточных венцах осевого компрессора, как известно, представляют собой поверхности вращения и имеют в общем случае различные радиальные координаты на входе и выходе из венца.

Векторы скорости, определяемые в процессе кинематического расчета и отвечающие заданным значениям затраченной работы и степени реактивности, касательны к данным осесимметричным поверхностям тока. При строгой постановке задачи профилирования лопаточных венцов последние должны иметь потребные углы атаки и углы выхода потока также на расчетных поверхностях тока, для чего поверхности профилирования следовало бы принимать совпадающими с поверхностями тока.

Однако в существующей практике профилирования широкое распространение получил метод плоских сечений, то есть такой метод, при котором построение исходных профилей лопаток производится не на поверхностях тока, а в плоских сечениях, нормальных к радиальной оси лопатки [1]. Вызвано это упрощением методики расчета координат лопатки и проектирования технологической оснастки для ее изготовления. Этот метод профилирования был разработан для ступеней с умеренной напорностью, обладающих небольшой конусностью проточной части. Расхождение между профилями, получающимися в результате сечения пера лопатки поверхностью тока и плоской поверхностью профилирования, при этом оказывается небольшим и искажение конструктивных углов и формы фактически обтекаемых профилей — незначительным.

В работе [2] указывалось на возникновение заметной погреш-

ности при профилировании лопаток таким способом даже в ступени с цилиндрической проточной частью, если удлинение лопаток достаточно мало. По мере повышения напорности и производительности компрессоров, т. е. при появлении выраженной конусности проточной части, погрешность профилирования лопаток по методу плоских сечений увеличивается и приводит подчас к значительному, недопустимому искажению потребной геометрии профилей в сечениях пера лопатки поверхностями тока.

Основные положения профилирования лопаток по методу плоских сечений заключаются в следующем.

Известными для профилирования лопаточного венца из проектного газодинамического расчета являются радиальные координаты  $r_1$  и  $r_2$  и наклон образующих  $\psi_1$  и  $\psi_2$  и осесимметричных поверхностей тока, значения углов входа  $\alpha_1$  и выхода  $\alpha_2$  потока в межвенцовых зазорах (рис. 1), а также прочие газодинамические параметры потока.

Углы входа и выхода потока задаются на поверхностях тока, но могут быть рассчитаны и в проекции на плоскости, параллельные оси компрессора, по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \psi} \quad (1)$$

По значениям углов и скоростей потока выбирается густота конических решеток, соответствующих поверхностям тока, затем находятся углы атаки и отставания потока и, в результате, определяются потребные конструктивные углы на входе и выходе, каждый на своем радиусе. Переход от кинематических параметров потока к геометрическим параметрам конических решеток производится по данным продувок плоских и диагональных решеток, изображенных, например, в работе [3].

Конструктивные углы, так же как и углы потока, могут быть заданы непосредственно на поверхностях тока ( $\alpha_k$ ) или в их проекции на плоскость  $XU$  ( $\alpha_{k, \text{пр}}$ ). Связь между ними аналогична соотношению (1).

Для вычисления координат профилей, которое производится в нормальных плоских сечениях, значения потребных конструктивных углов в проекции на эти сечения снимаются с расчи-

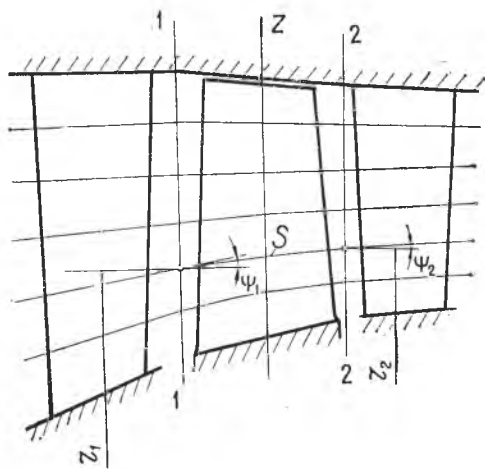


Рис. 1. Схема проточной части осевого компрессора: S — поверхность тока

танных зависимостей  $\alpha_{1к, пр}(r)$  и  $\alpha_{2к, пр}(r)$  при одинаковых значениях  $r$ , равных высотной координате данного сечения  $Z$ . Сам расчет координат профиля производится обычным способом, изложенным, например, в работе [1].

Проанализируем суть допущений, содержащихся в методе плоских сечений. Для этого изобразим в изометрии пересечение пера лопатки конической поверхностью тока  $S$  (рис. 2). Для построения принята прямоугольная система координат  $XYZ$ . Радиальная ось лопатки  $Z$  проходит через точки связки отдельных профилей  $O$ , координаты  $Z$  отсчитываются от плоскости  $XY$ , проходящей через ось компрессора.

При профилировании лопатки по плоским сечениям конструктивный угол входа  $\alpha_{1к, пр}$ , который должен принадлежать проекции конического профиля  $KQ$ , задается для плоского профиля  $P_1R_1$ , а конструктивный угол выхода  $\alpha_{2к, пр}$  — для плоского профиля  $P_2R_2$  (эти профили лежат соответственно в нормальных плоскостях  $H_1$  и  $H_2$ ). При конфигурации сечений лопатки, меняющейся по ее высоте, проекции профилей  $KQ$ ,  $P_1R_1$  и  $P_2R_2$  на плоскость  $XY$  не совпадают друг с другом, следовательно, и проекции конструктивных углов конического профиля на входе и выходе будут отличаться от соответствующих углов плоских профилей.

Таким образом, отличие конструктивных углов профилей в нормальных плоских сечениях и в проекциях конических сечений вызывается двумя причинами.

Первая заключается в том, что плоскости  $H_1$  и  $H_2$  проводятся по методу плоских сечений через крайние точки образующей поверхности тока  $k$  и  $q$ , а не через кромки конического профиля  $K$  и  $Q$ , т. е. не учитывается, разница между высотной координатой кромки  $Z$  и ее радиусом, определяемая следующим соотношением

$$Z = r \sqrt{1 - \left(\frac{Y_{кр}}{r}\right)^2}, \quad (2)$$

где  $Y_{кр}$  — координата соответствующей кромки, передней или задней.

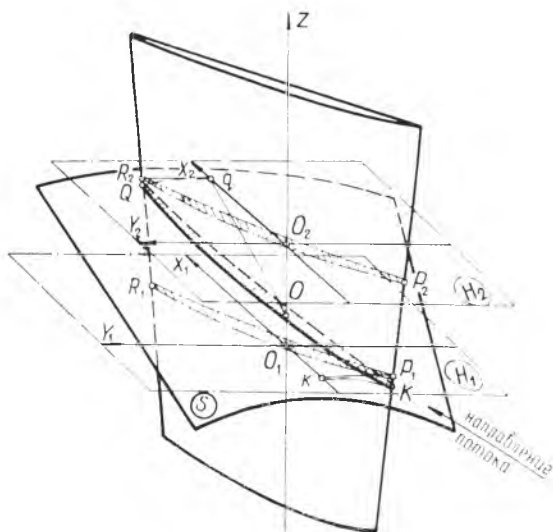


Рис. 2. Пространственная схема сечения пера лопатки конической и плоскими поверхностями:

$S$  — коническая поверхность тока;  $H_1$ ,  $H_2$  — плоские сечения, проходящие соответственно через точки  $k$  и  $q$  образующей

Погрешность в углах  $\alpha_{1k}$ , определяемая данной причиной, зависит от относительного окружного выноса кромок  $\frac{Y_{кр}}{r}$  и интенсивности изменения по радиусу конструктивных углов  $\frac{d\alpha_k}{dr}$ , однако количественно она невелика и, в основном, не превышает  $1^\circ$ . Эту погрешность можно легко устранить, если значения углов  $\alpha_{1k,пр}$  и  $\alpha_{2k,пр}$  для плоского сечения, располагаемого на выбранной высоте  $Z$ , снимать с зависимостей  $\alpha_{1k,пр}(r)$  и  $\alpha_{2k,пр}(r)$  при значениях  $r_1$  и  $r_2$ , определяемых по соотношению (2).

Вторая причина погрешности углов  $\alpha_k$  вызывается несовпадением проекций конического и плоского сечений лопатки, исходящих из общей точки кромки ( $K$  или  $Q$ ). Природа этой погрешности видна из рис. 3, где изображено сечение средней поверхности лопатки, образуемой средними линиями профилей, конической и нормальными плоскими поверхностями.

Средняя линия конического профиля  $KLMNQ$  образуется из точек средних линий последовательного множества плоских профилей, заключенных между сечениями I и V. Так, точка  $K$  принадлежит нормальному плоскому сечению I, точка  $L$  — сечению II и т. д. При изменяющейся геометрии плоских профилей касательные в точке  $K$  к средним линиям конического сечения  $KLMNQ$  и плоского сечения I не совпадают. Угол  $\Delta\alpha_{1k} = \alpha_{1k,пр} - \alpha_{1k,пл}$  на входе и аналогичный угол  $\Delta\alpha_{2k} = \alpha_{2k,пр} - \alpha_{2k,пл}$  на выходе выражают собой погрешность, возникающую при профилировании лопатки по плоским сечениям вследствие второй причины. Следует также отметить, что и форма средней линии конического профиля  $KLMNQ$  получается отличной от принятой в плоских сечениях, в частнос-

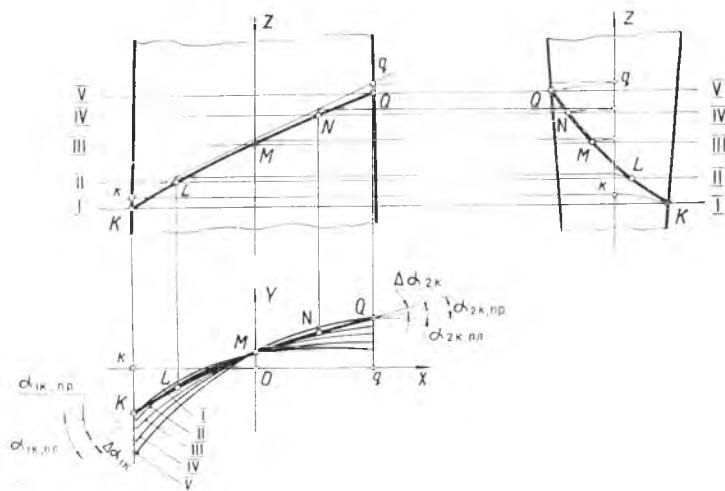


Рис. 3. Схема сечения средней поверхности лопатки конической ( $KQ$ ) и плоскими (I—V) поверхностями в проекциях

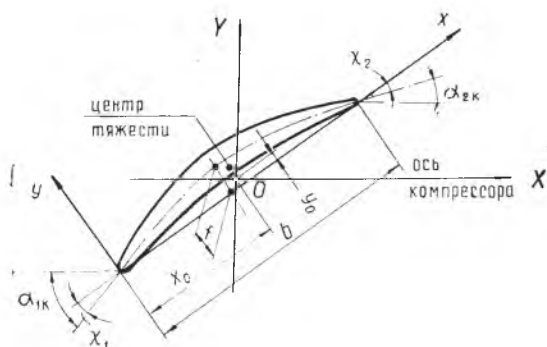


Рис. 4. Геометрические параметры профиля в проекции на плоскость  $XU$

ти, меняется положение максимального прогиба, и средняя линия иногда становится S-образной.

Рассмотрим далее формулы, позволяющие вычислить значения углов  $\Delta\alpha_{1k}$  и  $\Delta\alpha_{2k}$  в зависимости от геометрических параметров лопатки.

Профили плоских сечений лопатки строятся обычно в так называемой собственной системе координат  $xy$ , начало кото-

рой совпадает с передней точкой средней линии, ось  $x$  направлена вдоль хорды, а ось  $y$  — в сторону прогиба средней линии (рис. 4). На этом рисунке показаны общие для всей лопатки оси координат  $XU$  и характерные геометрические параметры профиля.

Координаты передней и задней точек плоского профиля в системе  $XUZ$  находятся как

$$\begin{aligned} X_1 &= -x_0 \cos \gamma + y_0 \sin \gamma, & X_2 &= (b - x_0) \cos \gamma + y_0 \sin \gamma, \\ Y_1 &= -x_0 \sin \gamma - y_0 \cos \gamma, & Y_2 &= (b - x_0) \sin \gamma - y_0 \cos \gamma, \\ Z_1 &= r_1 \sqrt{1 - \left(\frac{Y_1}{r_1}\right)^2}, & Z_2 &= r_2 \sqrt{1 - \left(\frac{Y_2}{r_2}\right)^2}. \end{aligned}$$

Здесь  $x_0, y_0$  — координаты точки связки профилей, через которую проходит радиальная строительная ось лопатки  $Z$ , в собственной системе.

Углы  $\Delta\alpha_k$  могут быть определены из графического построения (рис. 5). На данном графике в проекции на плоскость  $XU$  показаны средние линии двух плоских профилей, один из которых (исходный) проходит через переднюю точку  $K$  конического профиля, а соседний (его обозначения помечены штрихом) смещен по высоте на величину  $\Delta Z$ . Приращению  $\Delta Z$  соответствуют вполне

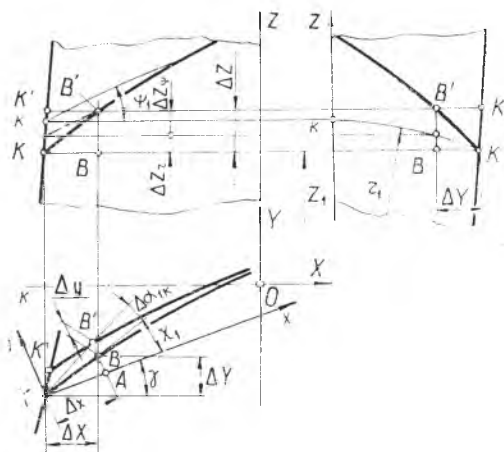


Рис. 5. Графическое построение расхождения между конструктивными углами плоского и конического сечений пера лопатки у передней кромки

определенные приращения по другим осям координат ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ). Как видно из построения, приращение  $\Delta Z$  складывается из двух элементов, первый из которых  $\Delta Z_{\psi}$  связан с наклоном образующей, а второй  $\Delta Z_r$  — с кривизной поверхности тока в окружном направлении, т. е.;

$$\begin{aligned}\Delta Z_{\psi} &= \Delta X \operatorname{tg} \psi_1; \\ \Delta Z_r &= \Delta Y \frac{(-Y_1)}{Z_1}.\end{aligned}$$

Угол  $\Delta\alpha_{1к}$  заключен между отрезками  $KB$  и  $KB'$ , причем при стремлении  $\Delta x$  к нулю прямая  $KB$  в пределе превращается в касательную к средней линии плоского профиля, а прямая  $KB'$  — в касательную к средней линии конического профиля. Из этого построения угол  $\Delta\alpha_{1к}$  может быть найден, как

$$\Delta\alpha_{1к} = \cos^2 \gamma_1 \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

Приращение  $\Delta y$  зависит от изменения по высоте лопатки таких параметров профиля, как угол установки, положение точки связки, хорда профиля.

В результате определения взаимосвязи приращений координат получается следующее выражение углового расхождения  $\Delta\alpha_{1к}$ :

$$\Delta\alpha_{1к} = -\Phi_1 \left[ \bar{x}_0 b \frac{d\gamma_1}{dZ} + \frac{d(\bar{y}_0 b)}{dZ} - \operatorname{tg} \gamma_1 \frac{d(\bar{x}_0 b)}{dZ} \right], \quad (3)$$

где

$$\Phi_1 = \cos \gamma_1 \left( \operatorname{tg} \psi_1 \cos \alpha_{1к} - \frac{Y_1}{Z_1} \sin \alpha_{1к} \right).$$

Аналогичным образом может быть получено и выражение угла  $\Delta\alpha_{2к}$  у выходной кромок:

$$\Delta\alpha_{2к} = \Phi_2 \left\{ (1 - \bar{x}_0) b \frac{d\gamma_2}{dZ} - \frac{d(\bar{y}_0 b)}{dZ} + \operatorname{tg} \gamma_2 \frac{d[(1 - \bar{x}_0) b]}{dZ} \right\}, \quad (4)$$

где

$$\Phi_2 = \cos \gamma_2 \left( \operatorname{tg} \psi_2 \cos \alpha_{2к} - \frac{Y_2}{Z_2} \sin \alpha_{2к} \right).$$

Точка связки  $O$  для профилей лопаток рабочих колес обычно размещается вблизи центра тяжести сечения (см. рис. 4) с небольшим смещением для компенсации изгибающего момента от газовых сил. Однако смещение это невелико, и для приближенных вычислений им можно пренебречь. Тогда

$$\bar{x}_0 \approx 0,5;$$

$$\bar{y}_0 \approx \kappa_f l,$$

где  $\kappa_f = 0,75 \div 0,8$ .

При конструировании лопаток направляющих аппаратов положение точки связки обычно выбирается на средней линии про-

филя при  $x_j = 0,5$  ( $K_j = 1$ ). Однако связку профилей в этом случае можно производить по центрам тяжести так же, как и для рабочего колеса.

Для приближенной оценки углов  $\Delta\alpha_{1к}$  и  $\Delta\alpha_{2к}$  формулы (3) и (4) могут быть упрощены. Исключая слабо влияющие члены уравнений, после несложных преобразований получаем величины погрешностей углов для конической поверхности тока (при  $\psi_1 = \psi_2$ ).

$$\Delta\alpha_{1к} = \left( \frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_1}{\bar{b}} + \frac{\bar{b} \sin^2 \gamma}{2\bar{r}} \right) \left( \frac{\bar{b}}{2} \cdot \frac{d\gamma}{dZ} + k_f \bar{b} \frac{d\bar{f}}{dZ} \right); \quad (5)$$

$$\Delta\alpha_{2к} = \left( \frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_1}{\bar{b}} + \frac{\bar{b} \sin^2 \gamma}{2\bar{r}} \right) \left( \frac{\bar{b}}{2} \cdot \frac{d\gamma}{dZ} - k_f \bar{b} \frac{d\bar{f}}{dZ} \right). \quad (6)$$

Здесь значения  $\bar{r}$ ,  $\bar{Z}$  и  $\bar{b}$  отнесены к наружному радиусу лопаточного венца на входе  $r_{1к}$ , а величина  $\bar{f}$  — к хорде профиля  $b$ . Углы  $\Delta\alpha_{к}$  и  $\gamma$  выражены в радианах. Значения  $\bar{r}$  можно принимать равными  $Z$ . Приближенные соотношения (5) и (6) несколько завышают значения  $\Delta\alpha_{1к}$  (до  $\approx 20\%$  при больших изгибах), но позволяют более четко выявить влияние различных геометрических параметров лопатки на расхождение конструктивных углов плоских и конических сечений.

При постоянной по высоте лопатки конфигурации профилей (т. е. при  $\frac{d\gamma}{dZ} = \frac{d\bar{f}}{dZ} = 0$ ) угловое расхождение  $\Delta\alpha_{к}$  превращается в нуль независимо от формы поверхности тока. При переменной конфигурации пера расхождение углов зависит от наклона образующей поверхности тока, а также от ее кривизны во фронтальном сечении.

В случае цилиндрической формы поверхности тока первый член в квадратных скобках уравнений (5) и (6) исчезает. Угловое расхождение  $\Delta\alpha_{к}$  между цилиндрическим и плоским профилем при этом будет тем сильнее, чем больше кривизна поверхности  $\frac{1}{r}$  и вынос концевых точек профиля от меридиональной плоскости  $XZ$ , т. е. величина  $\frac{\bar{b}}{2} \sin \gamma$ . Параметр  $\bar{b} = \frac{b}{r_{к}}$  может быть выражен через относительный радиус втулки и удлинение лопатки как  $\bar{b} = \frac{1 - \bar{r}bm}{\bar{h}}$ . Таким образом, погрешность метода плоских сечений возрастает по мере уменьшения относительного радиуса втулки и удлинения лопаток.

В случае конической формы поверхности тока, кроме отмеченных параметров, непосредственное воздействие на искажение профилей оказывает наклон образующей  $\frac{\bar{r}_2 - \bar{r}_1}{b}$ , причем влияние этого члена может быть определяющим.

В качестве примера рассмотрим результат расчета углов  $\Delta\alpha_{1к}$  и  $\Delta\alpha_{2к}$  для лопаток двух характерных входных ступеней:



низконапорной (I) с относительным радиусом втулки 0,45 и высоконапорной (II) с относительным радиусом втулки 0,35 (см. таблицу).

Расчет углов производился по формулам (5) и (6) для трех сечений лопатки рабочего колеса: периферийного, среднего и втулочного.

Ступень	Сечение	П а р а м е т р ы								
		$\pi^*$	$\overline{H}_T$	$\overline{h}$	$\overline{r}_1$	$r_2$	$\frac{\theta}{2} \frac{d\gamma}{dz}$	$0,78 \overline{b} \frac{df}{dz}$	$\Delta z_{1K}$	$\Delta z_{2K}$
I	Периф.	—	—	—	1	0,985	0,059	—0,015	0,2	—1
	Сред.	1,19	0,135	3,7	—	—	0,082	—0,011	—0,2	—0,4
	Втул.	—	—	—	0,45	0,465	0,1	—0,015	—0,3	0,5
II	Периф.	—	—	—	1	0,945	0,157	0,047	0,3	—2,4
	Сред.	1,6	0,28	1,9	—	—	0,112	0,05	—9,4	—1,3
	Втул.	—	—	—	0,35	0,415	0,42	—0,13	—4,6	6

Из приведенных результатов видно, что у ступени I искомая погрешность профилирования лопаток по методу плоских сечений невелика и не превышает  $1^\circ$ . Но для высоконапорной ступени II, у которой конусность проточной части более выражена и больше градиенты геометрических параметров лопатки по высоте, погрешность достигает  $6^\circ$ , что недопустимо.

Таким образом, формулы (5), (6) можно использовать как критерий применимости метода плоских сечений для профилирования лопаток компрессора, если ограничить допустимую угловую погрешность некоторой абсолютной величиной, например,  $|\Delta z_{1K}| \leq 1^\circ$ , или долей отклонения потока  $\left| \frac{\Delta \alpha_{1K}}{\alpha_{1np} - \alpha_{2np}} \right| \leq 0,05$ .

Предварительно, до подробного расчета геометрических параметров профилей, ожидаемую погрешность можно оценить приближенно, определив углы  $\gamma$  и прогиб  $\bar{f}$  по углам потока  $\alpha_{1np}$  и  $\alpha_{2np}$ . Так, при параболической средней линии с положением максимального прогиба  $\bar{x}_f = 0,5$  можно принять

$$\bar{\gamma} = \frac{\alpha_{1np} + \alpha_{2np}}{2} - 3;$$

$$\bar{f} = 0,25 \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_{1np} - \alpha_{2np}}{2} - 3 \right).$$

Дополнительная погрешность в оценке углов  $\Delta \alpha_{1K}$  и  $\Delta \alpha_{2K}$  от такого приближения невелика.

Предложенные формулы для определения углов  $\Delta \alpha_{1K}$  и  $\Delta \alpha_{2K}$  могут быть использованы и непосредственно для уточнения про-

филирования лопаток по методу плоских сечений. Для этого необходимо после профилирования лопатки в первом приближении определить углы  $\Delta\alpha_{1K}$  и  $\Delta\alpha_{2K}$  по соотношениям (2), (3) и внести поправки в конструктивные углы плоских сечений для расчета координат профилей во втором приближении:

$$\alpha_{1K, пл}^{\text{II}} = \alpha_{1K, пл}^{\text{I}} - \Delta\alpha_{1K};$$

$$\alpha_{2K, пл}^{\text{II}} = \alpha_{2K, пл}^{\text{I}} - \Delta\alpha_{2K}.$$

Здесь  $\alpha_{1K, пл}^{\text{I}}$ ,  $\alpha_{2K, пл}^{\text{I}}$  — потребные конструктивные углы в проекции на плоскость  $XU$ , принятые в расчете плоских профилей в I приближении.

Данный прием позволяет получить более правильные конструктивные углы действительно обтекаемых конических профилей и расширить область применения метода плоских сечений до значений  $|\Delta\alpha_K| = 2 \div 3^\circ$  или  $\left| \frac{\Delta\alpha_K}{\alpha_1 - \alpha_2} \right| = 0,1$ . При большем угловом расхождении плоских и конических профилей использование метода плоских сечений приводит к значительному искажению формы средней линии фактически обтекаемых профилей. В этом случае предпочтительнее профилировать лопатки непосредственно на поверхностях вращения, совпадающих с поверхностями тока.

## ВЫВОДЫ

1. Неточность профилирования лопаток компрессора по методу плоских сечений, возникающая вследствие несоответствия плоских поверхностей профилирования с поверхностями тока, возрастает с увеличением конусности проточной части и с уменьшением относительного радиуса втулки и удлинения лопаток.
2. Приведенные приближенные формулы позволяют оценить отличие между конструктивными углами профилей в плоских и фактически обтекаемых конических сечениях лопатки и определить, можно ли применить метод плоских сечений в каждом конкретном случае.
3. Погрешности метода плоских сечений могут быть уменьшены и область его применения расширена, если внести во втором приближении расчета в конструктивные углы плоских профилей поправки, определяемые по приведенным формулам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стечкин Б. С. и др. Теория реактивных двигателей. Лопаточные машины. М., Оборонгиз, 1956.
2. Гегин А. Д. О влиянии метода конструирования лопаток малого удлинения на характеристику ступени осевого компрессора. «Известия АН СССР», Энергетика и транспорт, 1967, № 1.
3. Никитин Н. В. Исследование диагональных диффузорных решеток. В сб.: «Лопаточные машины и струйные аппараты». Вып. 1. М., «Машиностроение», 1966.