

УДК 621.438.001 2 (02)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОПЛОВОГО АППАРАТА ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОЙ МИКРОТУРБИНЫ, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ЛОПАТОК

© 2003 Н. Ф. Мусаткин, В. М. Радько, А. Д. Балахонов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Приведена методика определения геометрических параметров сопловых аппаратов на основании результатов газодинамического расчета ступени радиальной центростремительной микротурбины.

Полная автоматизация процесса газодинамического проектирования центростремительных микротурбин (ЦСМТ) во многом зависит от наличия геометрических моделей соплового аппарата (СА) и рабочего колеса (РК). Последние должны быть построены на некоторых базовых геометрических характеристиках, определяемых на предыдущих этапах расчета. Например, модель для этапа профилирования должна опираться на геометрические параметры, полученные в кинематическом расчете ступени.

Несовершенством существующего способа профилирования прямолинейных лопаток СА ЦСМТ [1] является необходимость проведения итерационных расчетов.

Для устранения отмеченного недостатка в настоящей статье создана геометрическая модель СА с прямолинейными лопатками, позволяющая автоматизировать процесс профилирования последнего.

По результатам газодинамического расчета считаются известными следующие геометрические характеристики СА:

1. Внешний и внутренний диаметры СА D_0 и D_1 соответственно.
2. Угол наклона оси канала к касательной, проведенной к выходному фронту решетки, $\alpha_{0к}$.
3. Критическое сечение a_r .
4. Угол сужения канала (угол между осью канала и стенкой) γ .
5. Радиус скругления выходной кромки около короткой стенки косоугольного среза r_1 .
6. Радиус скругления входной кромки около короткой стенки косоугольного среза r_0 .
7. Угловой шаг решеток Θ .

Обозначения указанных геометрических величин приведены на рис. 1.

Вследствие технологических ограничений в расчетах геометрии СА величину a_r следует сравнить с минимальным критическим сечением $a_{r\min}$. При значениях a_r , меньших $a_{r\min}$, невозможно фрезерование каналов. В этом случае за исходную величину критического сечения принимается $a_{r\min}$, необходимый расход рабочего тела обеспечивается соответствующим увеличением высоты лопаток.

В работе [1] определены углы, характеризующие косоугольный срез и выходную кромку профилей лопаток СА (рис. 1):

угол наклона короткой стенки косоугольного среза по отношению к касательной выходного фронта решетки, направленной противоположно движению рабочего тела, в точке их пересечения

$$\alpha_{1кк} = \arccos \left\{ \frac{r_1}{R_1} + \cos \gamma \left(\alpha_{0к} - \frac{2r_1 + a_r}{2R_1 \cos \gamma} \right) + \frac{\sin \gamma}{R_1} \sqrt{(R_1 + r_1)^2 - \left[R_1 \cos \alpha_{0к} - \frac{2r_1 + a_r}{2R_1 \cos \gamma} \right]^2} \right\};$$

угол наклона длинной стенки косоугольного среза

$$\alpha_{1кк} = \alpha_{0к} - \Theta_3 + \gamma,$$

где

$$\Theta_3 = \alpha_{0к} + \gamma - \arccos \left[\cos(\alpha_{0к} + \gamma) + 2 \sin \frac{\Theta_1}{2} \sin \left(\alpha_{0к} + \frac{\Theta_1}{2} - \gamma \right) \right],$$

$$\Theta_1 = \alpha_{1\text{кк}} + \gamma - \alpha_{0\text{к}}.$$

Центральные вспомогательные углы (рис. 1) устанавливаются с помощью следующих выражений [1]:

$$\Theta_2 = \Theta - \Theta_1 - \Theta_3;$$

$$y = \arccos \left[\frac{R_1 \cos \alpha_{1\text{кк}} - r_1}{R_1 + r_1} \right] - \alpha_{1\text{кк}};$$

$$\chi = \Theta_2 - y.$$

Для полного описания геометрической модели СА требуется знание величины хорды лопатки b и толщины выходной кромки. Их определение произведем, рассматривая произвольное сочетание известных величин $\alpha_{1\text{кк}}$, y , Θ_2 и r_1 , общее расположение точек пересечения длинной стенки косого среза с перпендикуляром, восстановленным из центра

O_2 к O_1O_3 , и перпендикуляром к O_1O_2 , проходящим через точку O_2 (рис. 2).

Величина $b = r_0 + O_3O_2 + r_1$.

Рассмотрим треугольники $O_1O_2O_3$, O_1MO_2 и O_2MO_3 и путем преобразований получим

$$\frac{R_1 + r_1}{R_0 - r_0} = \cos x - \sin x \operatorname{tg} (\alpha_{1\text{кк}} + y - \Delta\beta); \quad (1)$$

$$\sin x = \frac{(r_0 - r_1) \cos (\alpha_{1\text{кк}} + y - \Delta\beta)}{(R_0 - r_0) \sin \Delta\beta}; \quad (2)$$

$$\cos x = \frac{(R_0 - r_0)^2 + (R_1 + r_1)^2 - \frac{(r_0 - r_1)^2}{\sin^2 \Delta\beta}}{2(R_1 + r_1)(R_0 - r_0)}. \quad (3)$$

Решая совместно уравнения (1)-(3), получим значение угла

$$\Delta\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{r_0 - r_1}{V} \right), \quad (4)$$

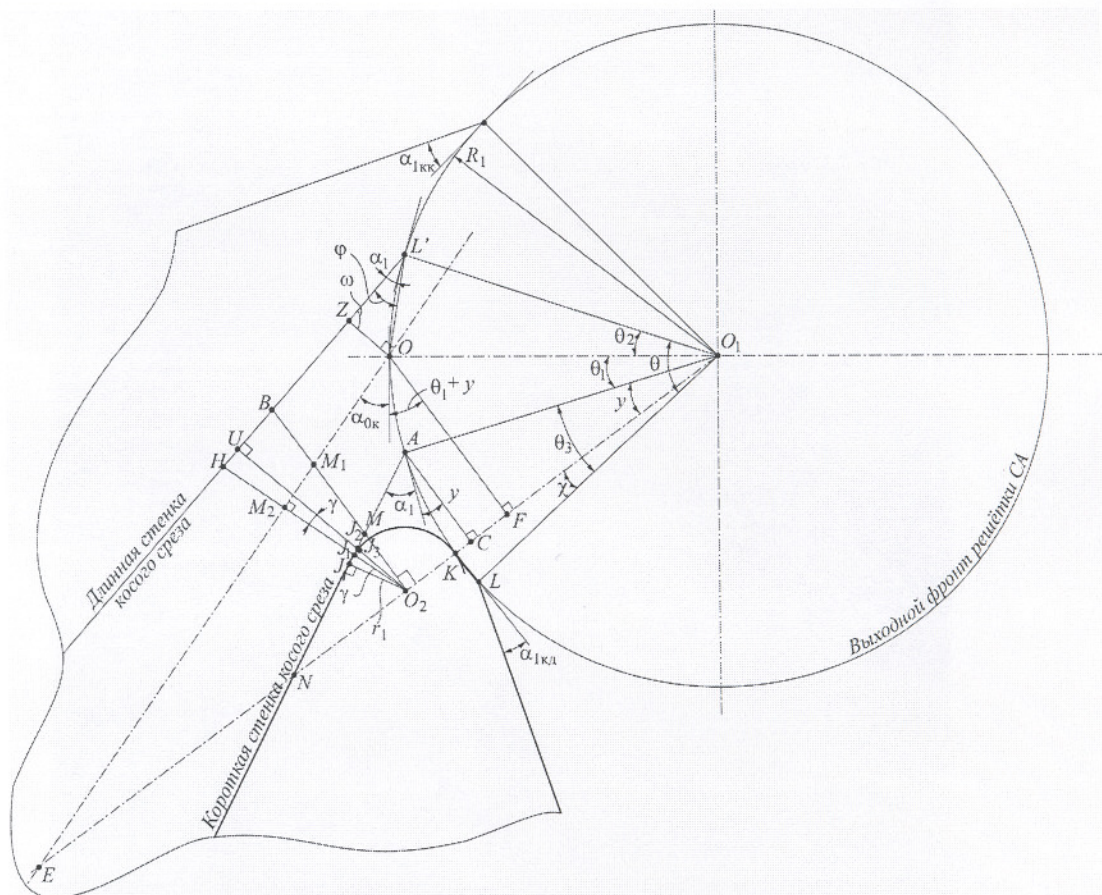


Рис. 1

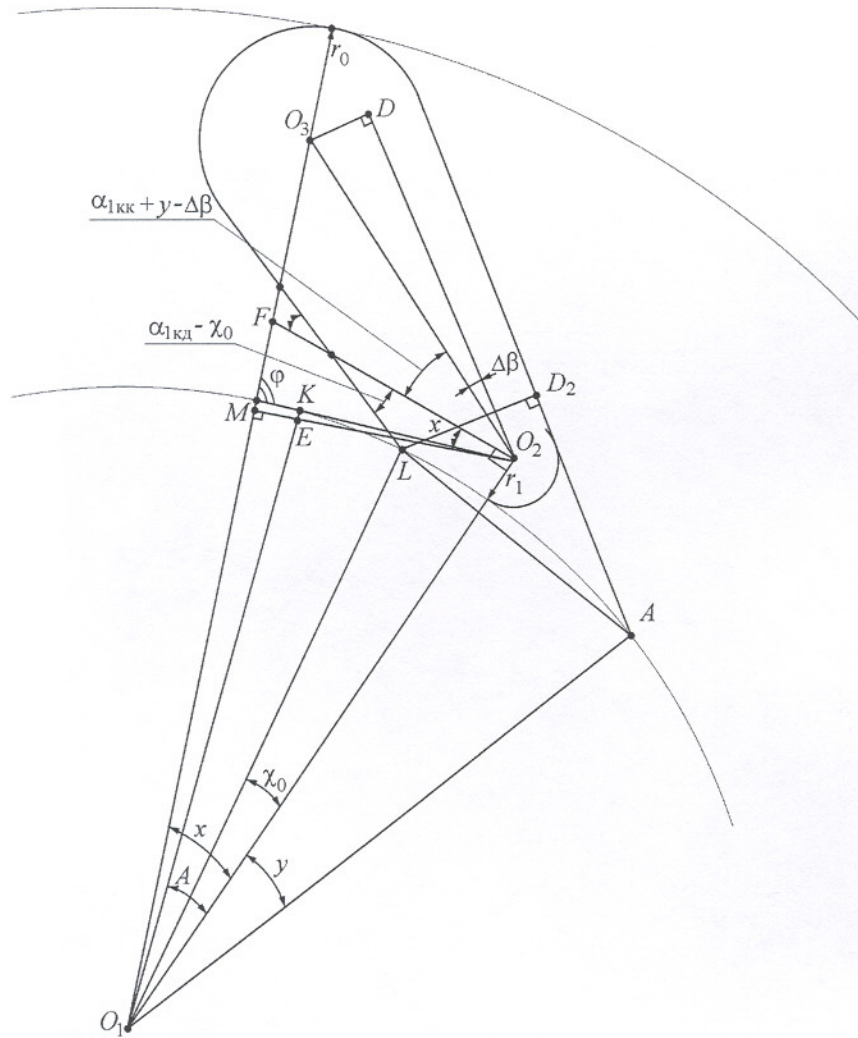


Рис. 2

где

$$V = \sqrt{(R_0 - r_0)^2 - R_1^2 [1 + \sin^2(\alpha_{1kk} + y)] - r_1(r_1 - 2R_1) \cos(\alpha_{1kk} + y) [\cos(\alpha_{1kk} + y) - 1 + 2r_0(R_1 + r_1)] - 1 - (R_1 + r_1) \sin(\alpha_{1kk} + y)}.$$

Расчет хорды и ширины лопатки упрощается при частном расположении точек F и K. Геометрические модели граничных случаев позволяют рассчитать геометрию лопатки с использованием меньшего количества исходных данных.

Например, исследуем случай, когда точка пересечения перпендикуляра, восстановленного из центра O₂ к отрезку O₁O₃, принадлежит выходному фронту решетки (рис. 3).

Рассматриваем треугольники KO₁O₂ и DO₂O₃. Путем преобразований получаем следующие соотношения:

$$r_0 = R_0 - R_1 - KO_3 = R_0 - R_1 - (R_1 + r_1) \sin x \times \operatorname{tg}(x + \alpha_{1kk} + y - \Delta\beta); \quad (5)$$

$$\frac{(R_1 + r_1) \sin x}{\cos(x + \alpha_{1kk} + y - \Delta\beta)} = \frac{r_0 - r_1}{\sin \Delta\beta}. \quad (6)$$

Их решением будет

$$\Delta\beta = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{B \cos Z - A \sin Z}{A - B \sin Z - A \cos Z} \right\};$$

$$\Delta\beta = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{(R_0 - R_1 - r_1) \cos(x + \alpha_{1kk} + y) - (R_1 + r_1) \sin x \sin(x + \alpha_{1kk} + y)}{[(R_1 + r_1) \sin x - [R_0 - R_1 - r_1] \sin(x + \alpha_{1kk} + y) - (R_1 + r_1) \sin x \cos(x + \alpha_{1kk} + y)]} \right\}. \quad (7)$$

Хорда лопатки

$$b = r_0 + O_3O_2 + r_1 = \frac{(r_0 + r_1)(1 + \sin \Delta\beta)}{\sin \Delta\beta}. \quad (8)$$

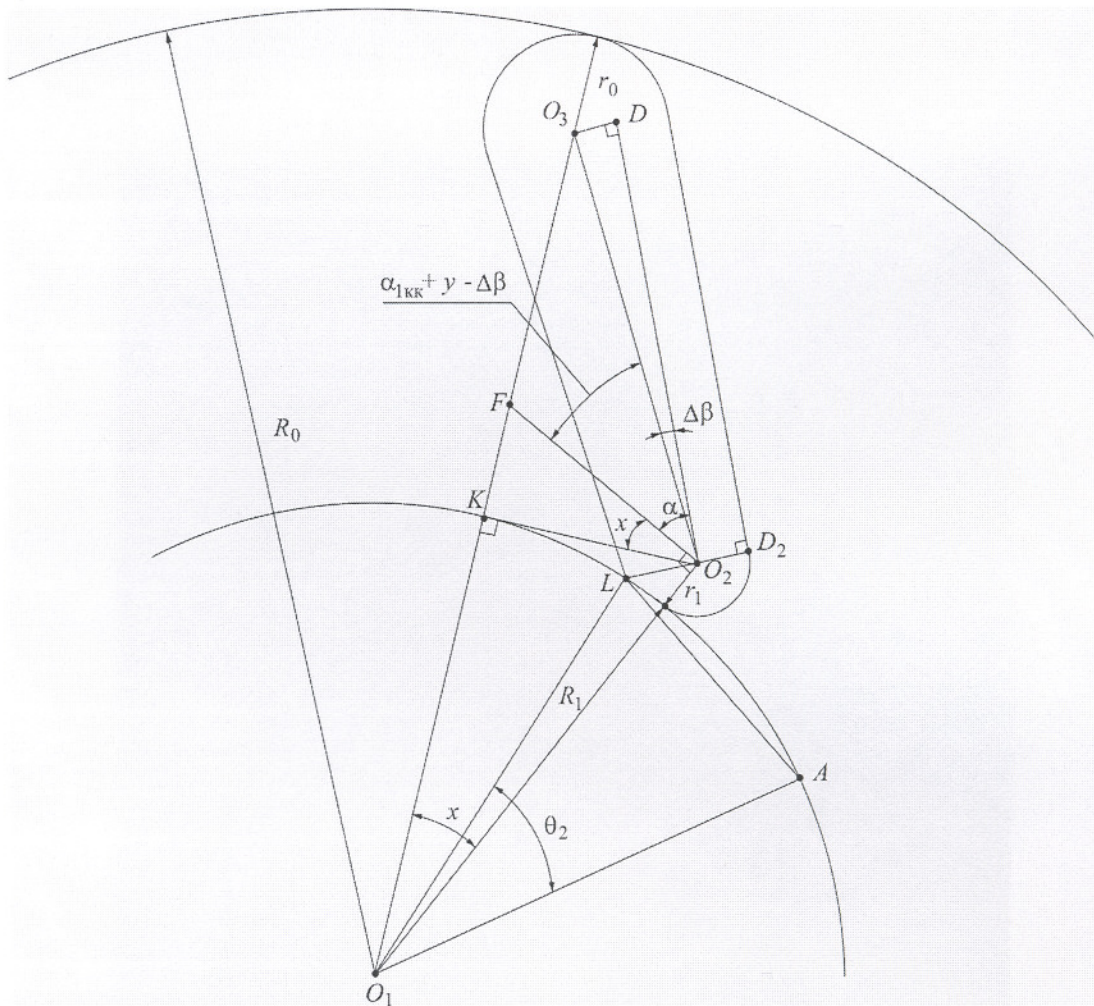


Рис. 3

Толщина выходной кромки лопатки S согласно [1]

$$S = LD_2 = 2R_1 \sin \frac{\Theta_2}{2} \sin \left(\frac{\Theta_2}{2} + \alpha_{1kk} \right). \quad (9)$$

Во-вторых, проанализируем случай, когда точка пересечения перпендикуляра, восстановленного из центра O_2 к O_1O_3 , и длинной стенки косога среза (т. F) принадлежит указанному отрезку (рис. 4).

Рассмотрим треугольники FLO_1 и FO_1O_2 и выведем из них следующие соотношения:

$$\frac{R_1}{\cos(x + \alpha_{1кд} - \chi_0)} = \frac{R_1 + r_1}{\cos x \cos \alpha_{1кд}}; \quad (10)$$

$$x = \arctg \left[\frac{(R_1 + r_1) \cos(\alpha_{1кд} - \chi_0) - R_1 \cos \alpha_{1кд}}{(R_1 + r_1) \sin(\alpha_{1кд} - \chi_0)} \right] \quad (11)$$

Расположение треугольника, необходимого для определения $\Delta\beta$, на рис. 4 (ΔNO_2O_3) такое же, как и на рис. 3 (ΔKO_2O_3). Зная угол x , можно определить b и S тем же способом, что и в первом случае, по выражениям (7), (8) и (9).

Таким образом, определены конструктивно-геометрические параметры, необходимые для построения профилей лопаток СА ступени ЦСМТ.

Данная методика была апробирована при проектировании СА ЦСМТ в диапазонах чисел $M_{1s} = 0,8 \dots 1,6$ и $Re = (2 \dots 5) \cdot 10^5$, а также типоразмеров D_0 от 0,1 до 0,04 м.

Список литературы

1. Трофимов А. А. Влияние параметров косога среза на отклонение потока в сопловом аппарате центростремительной микро турбины. Вопросы микроэнергетики: Труды КуАИ, Куйбышев. 1965, вып. 22, с. 56-62.

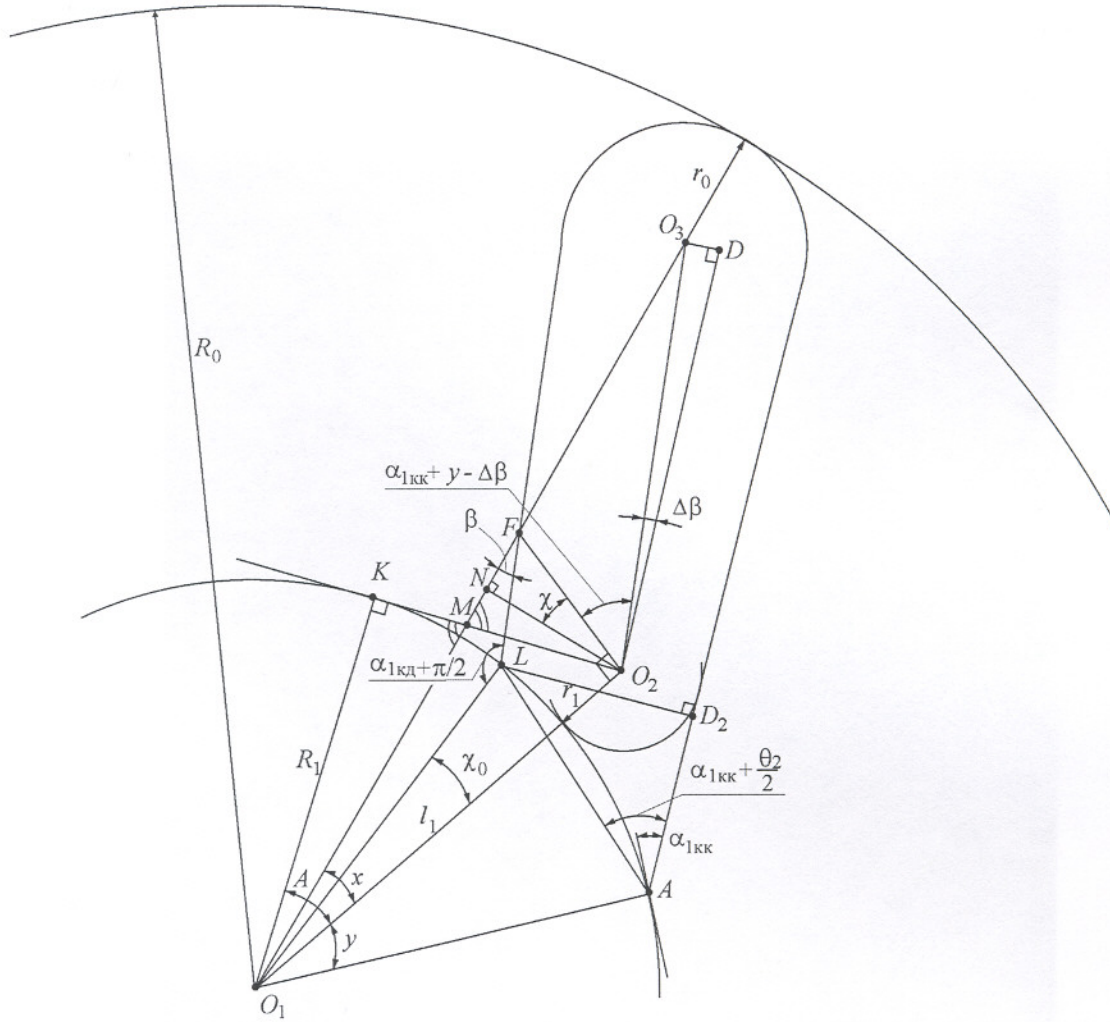


Рис. 4

DETERMINING GEOMETRICAL PARAMETERS OF CENTRIPETAL MICROTURBINE NOZZLE CONSISTING OF RECTILINEAR BLADES

© 2003 N. F. Mussatkin, V. M. Radko, A. D. Balakhonov

Samara State Aerospace University

A procedure for determining structural geometrical parameters of nozzle blade profiles on the basis of the results of gas-dynamic calculation of a stage of a radial centripetal microturbine is presented.