

## **К РАСЧЕТУ ПРОФИЛЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РОТОРОВ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ**

*О.Н. Цуканов*

Описан подход к расчету геометрии зубьев роторов и дисковых фасонных фрез для их нарезания в обобщающих параметрах. Приведена укрупненная блок-схема компьютерной программы расчета и результаты расчета для одного из возможных вариантов торцовых профилей зубьев.

Ключевые слова: винтовые компрессоры; профиль зубьев ротора; профиль зубьев фрезы; обобщающие параметры; обобщенные коэффициенты.

Винтовые компрессоры по сравнению с другими типами компрессорных машин отличаются простотой конструкции, более высокой надежностью и долговечностью. Вместе с тем еще имеются значительные резервы повышения производительности, улучшения энергетических показателей и плавности работы, а, следовательно, снижения шума таких компрессоров за счет совершенствования их геометрического проектирования и технологии изготовления инструмента для обработки основных рабочих элементов – зубьев роторов.

Для создания компрессорных машин с наиболее благоприятным комплексом качественных показателей зацепления зубьев роторов необходимо решение задачи совершенствования технологии тесно увязывать с решением задачи совершенствования геометрического проектирования.

Как известно, наиболее эффективной и производительной является обработка инструмента на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Программы обработки подготавливаются с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР). Исходная информация задается в виде массива координат рабочих точек профиля инструмента с малым шагом при линейной аппроксимации или с более крупным шагом при круговой аппроксимации с указанием радиусов аппроксимирующих дуг.

Автором разработан общий подход к расчету профиля зубьев дисковых фасонных фрез для нарезания зубьев роторов с любой формой участков профиля в торцовом сечении.

С этой целью в рассмотрение введены:

- постоянные коэффициенты  $a_1, a_2, a_3$  – общие для любых по форме и размерам участков торцового профиля зубьев ротора;
- обобщающие параметры  $\varphi$  и  $\varepsilon$  этих участков (рис. 1);
- обобщенные коэффициенты  $a_4$ – $a_9$ , зависящие от их формы.

Чтобы спроектировать профили зубьев дисковых фасонных фрез для нарезания зубьев роторов необходимо иметь значения следующих параметров (исходных данных) [1]:

- винтового параметра  $p = t/2\pi$ , где  $t$  – шаг винтовой поверхности зубьев;
- диаметра начальной окружности ведущего ротора  $d$ ;
- расстояния от оси фрезы до оси ротора  $A$ ;
- угла между осью фрезы и осью ротора  $\beta$ ;
- чисел зубьев ведущего и ведомого роторов  $z_1$  и  $z_2$ ;
- высот головок зубьев ведущего и ведомого роторов  $h_1$  и  $h_2$ ;
- необходимого зазора в зацеплении роторов  $\delta$ .

В качестве масштабного фактора изделия принимается параметр  $d$ .

Значения коэффициентов  $a_1, a_2, a_3$  определяются по следующим формулам:

$$a_1 = p^{*2}, a_2 = p^* A^* \operatorname{ctg} \beta, a_3 = A^* + p^* \operatorname{ctg} \beta,$$

где  $p^* = p/d, A^* = A/d$ .

Торцовый профиль зуба ротора обычно описывается дугами окружности или циклоидальными кривыми. В этом случае обобщающий параметр  $\varphi$  для 1-го участка профиля является его постоянной характеристикой.

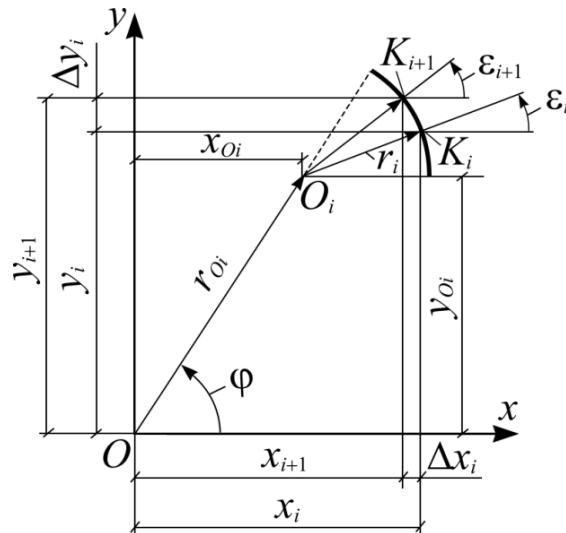


Рис. 1. Обобщающие параметры торцового профиля зуба ротора

В зависимости от значения  $\varphi$  устанавливается один из пределов изменения обобщающего параметра  $\varepsilon$ , определяющего положение нормали в той или иной точке ( $K$ ) участка (см. рис. 1).

Исследования показали, что уравнения поверхности зубьев ротора при единичном диаметре начальной окружности ведущего ротора ( $d = 1$ ) на любом участке могут быть приведены к следующему обобщенному виду:

$$\begin{aligned} x &= a_4 \cos(a_5 \varepsilon + a_6 \varphi + \theta) + a_7 \cos(a_8 \varepsilon + a_9 \varphi + \theta), \\ y &= a_4 \sin(a_5 \varepsilon + a_6 \varphi + \theta) + a_7 \sin(a_8 \varepsilon + a_9 \varphi + \theta), \\ z &= p\theta, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\theta$  – угловой параметр, определяющий положение точки винтовой поверхности зуба в торцовом сечении.

Для дуги окружности:  $a_4 = 0,5$ ,  $a_5 = 0$ ,  $a_6 = 1$ ,  $a_7 = h^*$ ,  $a_8 = 1$ ,  $a_9 = 0$ ; для дуги эпициклоиды:  $a_4 = (h^* + u)/2$ ,  $a_5 = 1$ ,  $a_6 = -1$ ,  $a_7 = -h^*/2$ ,  $a_8 = 1 + u/h^*$ ,  $a_9 = -1$ . Здесь  $h^* = h/d$ ,  $u = z_2/z_1$  – передаточное число.

Для тех участков профиля, форма которых отлична от дуги окружности или циклоиды, величина параметра  $\varphi$  рассчитывается для каждой аппроксимирующей дуги в зависимости от заданного значения параметра  $\varepsilon_i$  в одной из ее граничных точек с координатами  $x_i, y_i$  (см. рис. 1).

Остальные значения  $\varepsilon$  в соответствующих расчетных точках определяются по формуле

$$\varepsilon_{i+1} = \arctg((y_{i+1} - y_{O_i}) / (x_{i+1} - x_{O_i})),$$

где  $x_{i+1}, y_{i+1}$  – координаты  $(i+1)$ -ой точки кривой профиля;  $x_{O_i}, y_{O_i}$  – координаты центра  $O_i$  аппроксимирующей дуги (см. рис. 1).

Выражение для определения радиуса  $r_i$  аппроксимирующей дуги трудно найти из треугольника  $K_i O_i K_{i+1}$  (см. рис. 1):

$$r_i = [(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2]^{0,5} / 2 \cos[\varepsilon_i - \arctg(\Delta x_i / \Delta y_i)^{-1}],$$

где  $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ ,  $\Delta y_i = y_{i+1} - y_i$ .

Тогда:

$$x_{O_i} = x_i - r_i \cos \varepsilon_i,$$

$$y_{O_i} = y_i - r_i \sin \varepsilon_i.$$

Уравнения аппроксимирующей дуги:

$$x = r_{O_i} \cos \varphi_i + r_i \cos \varepsilon_{i+1},$$

$$y = r_{O_i} \sin \varphi_i + r_i \sin \varepsilon_{i+1},$$

где  $\varphi_i = \arctg(y_{O_i}/x_{O_i})$ ,  $r_{O_i} = (x_{O_i}^2 + y_{O_i}^2)^{0,5}$ .

Количество расчетных точек или шаг аппроксимации выбираются таким образом, чтобы обеспечить возможность изготовления зубьев ротора с необходимой степенью точности [1].

Исходя из основной теоремы зацепления, согласно которой вектор скорости относительного движения звеньев должен лежать в общей касательной плоскости к сопряженным поверхностям зубьев в точке их касания, получено общее уравнение зацепления вида:

$$0,5(A - x + p \operatorname{ctg} \beta) \partial(x^2 + y^2)/\partial t + p(p\theta \partial y/\partial t - A \operatorname{ctg} \beta \partial x/\partial t) = 0. \quad (2)$$

Координаты  $Z_\phi$ ,  $R_\phi$  рабочих точек профиля зуба фрезы в ее диаметральном сечении находятся в зависимости от значений параметра  $\varepsilon$  и соответствующих им значений параметра  $\theta$ , определяющего положение точки винтовой поверхности зуба ротора на линии зацепления с фрезой [1]:

$$Z_\phi = z \cos \beta - y \sin \beta, \quad (3)$$

$$R_\phi = (x_\phi^2 + y_\phi^2)^{0,5} = [(A - x)^2 + (y \cos \beta + z \sin \beta)^2]^{0,5}. \quad (4)$$

Расчет выполняется в следующем порядке:

- 1) по заданным уравнениям участков торцового профиля зубьев ротора определяются значения обобщенных коэффициентов в уравнениях (1);
- 2) раскрывается уравнение зацепления (2);
- 3) задается ряд значений параметра  $\varepsilon$  и из уравнения зацепления численным методом находятся соответствующие значения параметра  $\theta$ ;
- 4) по уравнениям (1) находятся значения координат точек зубьев ротора;
- 5) по формулам (3) и (4) находятся соответствующие значения координат точек зубьев фрезы.

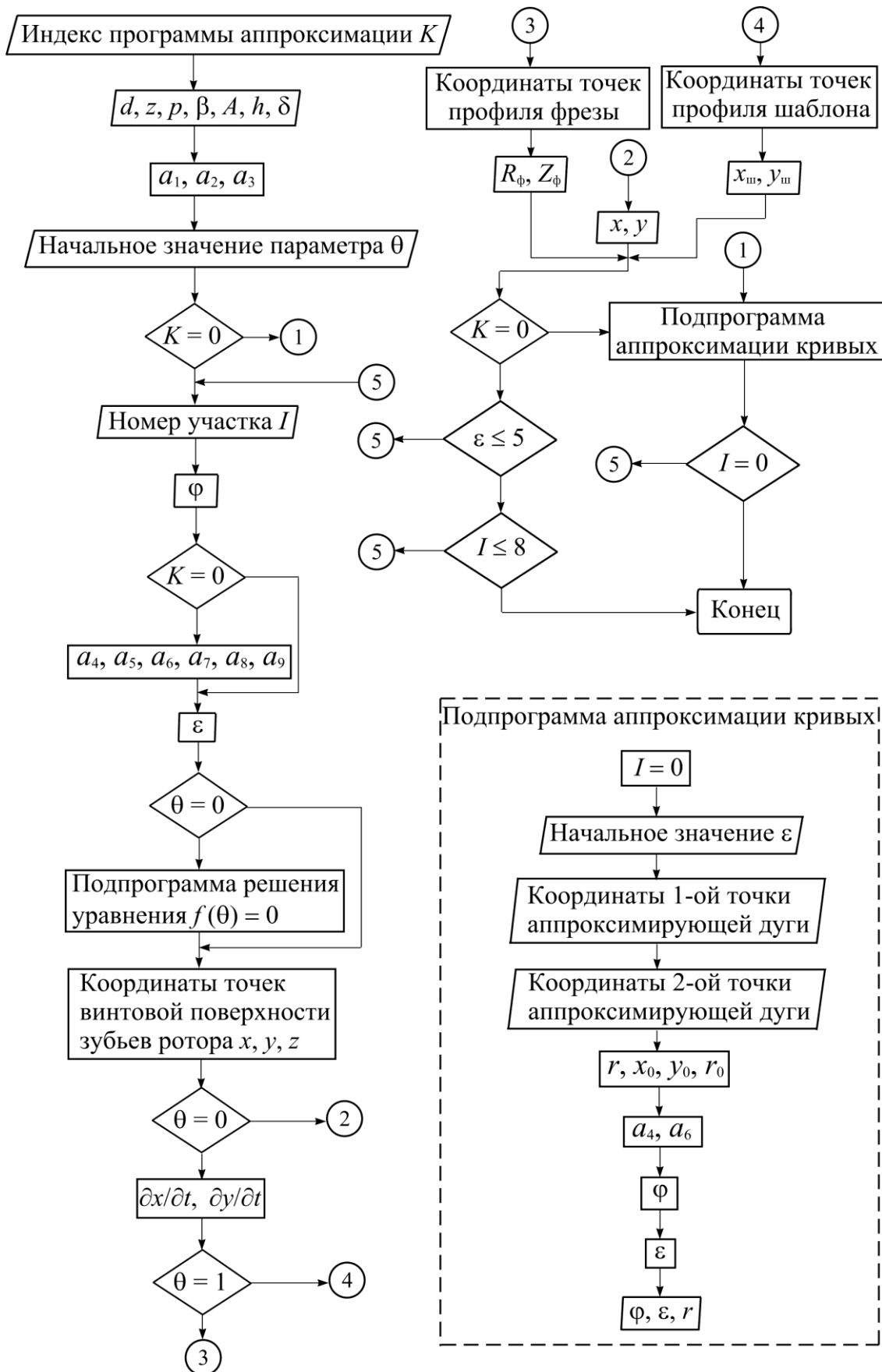


Рис. 2. Блок-схема программы расчета профилей зубьев роторов и фрез

На рис. 2 показана укрупненная блок-схема программы расчета геометрии зубьев роторов, дисковых фасонных фрез для их нарезания и мерительных шаблонов для контроля. На рис. 3 показаны расчетные профили дисковых фасонных фрез в диаметральном сечении для обработки ведущего и ведомого роторов при следующих исходных данных:

$$d = 50 \text{ мм}, z_1 = 4, p_1 = 0,891d, \beta_1 = 60,7^\circ, A_1 = 1,5d, h_1 = 0,33d;$$
$$z_2 = 6, p_2 = -1,337d, \beta_2 = 60,7^\circ, A_2 = 1,3d, h_2 = 0,02d.$$

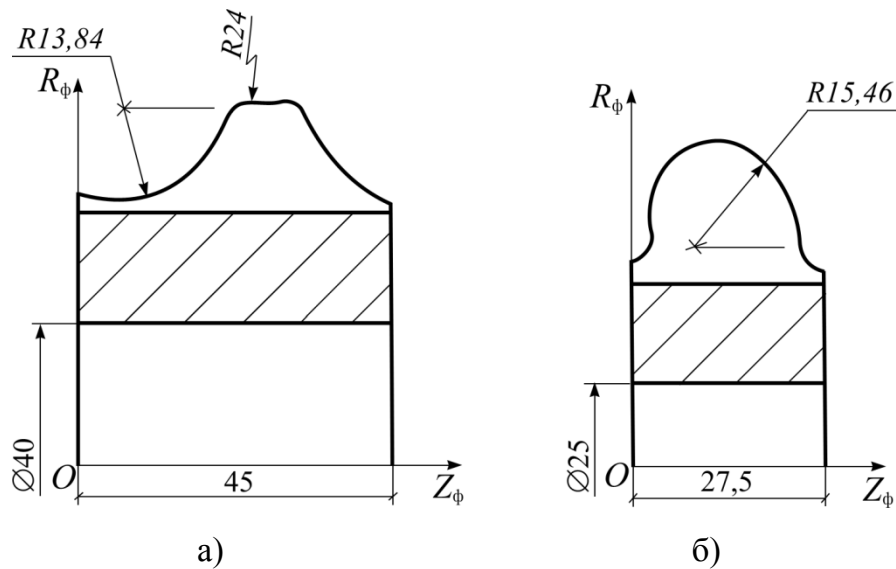


Рис. 3. Расчетные профили дисковых фасонных фрез в диаметральном сечении для нарезания зубьев ведущего (а) и ведомого (б) роторов

#### Библиографический список

1. Амосов, П.Е. Винтовые компрессорные машины: справочник / П.Е. Амосов. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1977. – 256 с.

[К содержанию](#)