

## ДВУХРОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС

М. И. Петоченко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Кулачковые двухроторные насосы Рутса являются стопроцентно безмасляными, что очень важно для многих рабочих процессов. Они являются незаменимыми в таких областях, как пищевая и кондитерская промышленность, производство кисломолочных продуктов, мясное производство, фармацевтика, медицина, косметическая промышленность, производство бытовой химии и т. д. Следовательно, разработка такого насоса, является актуальной и необходимой задачей в промышленности.

Важнейшим этапом при проектировании любого двухроторного вакуумного насоса является профилирование роторов.

Объемные машины осуществляют процесс сжатия в изолированных полостях, образующихся между роторами, между корпусом и роторами.

Минимальные перетечки газа через зазоры между роторами, роторами и корпусом обеспечивают более совершенный процесс сжатия и, следовательно, меньшие затраты энергии на сжатие газа. Основная задача профилирования – по выбранной части профиля построить сопряженную с ней часть другого профиля. Эту задачу решают для геометрических профилей, т. е. профилей, между которыми нет зазора. При профилировании роторов вакуумных насосов в основном применяют окружные (рис. 1), циклоидально-окружные (рис. 2) и профили со срезанной головкой (рис. 3).

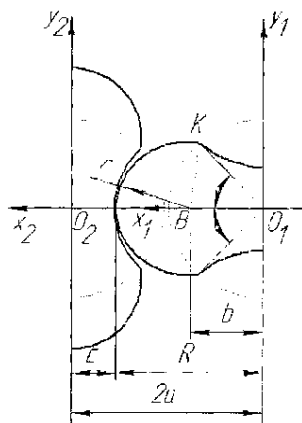


Рис. 1. Роторы с окружным профилем

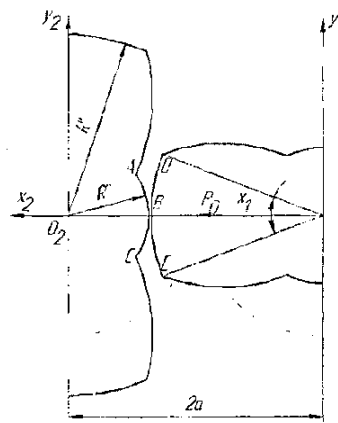


Рис. 2. Роторы с циклоидально-окружным профилем

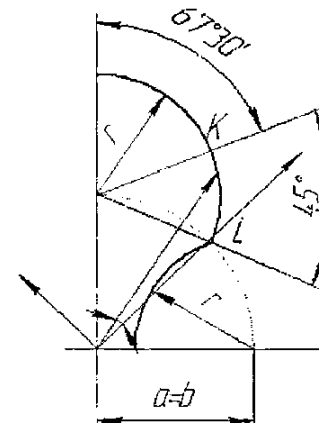


Рис. 3. Профиль с головкой, срезанной радиусом  $R$

Окружные профили – это профили, в которых головка ротора представляет собой окружность радиусом  $r$ , центр  $B$  которой расположен от оси  $O_1$  ротора на расстоянии  $b$  (рис. 1). Профиль впадины (сопряженную часть профиля второго ротора) получают, строя огибающую. Задача решается в подвижных системах координат  $X_1O_1Y_1$  и  $X_2O_2Y_2$ , которые жестко связаны с роторами и центры которых совпадают с осями роторов.

В системе координат  $X_1O_1Y_1$  записывают уравнения окружности радиусом  $r$  с центром в точке  $B$ :

$$x_1 = b + r \cos \psi; \quad y_1 = r \sin \psi, \quad (1)$$

где  $\psi$  – параметр профиля, за который принимают угол между общей нормалью к сопряженным профилям в точке их касания и положительным направлением оси  $O_1X_1$ .

Чтобы получить уравнение профиля впадины, уравнения (1) записывают в координатах  $X_2O_2Y_2$ :

$$\begin{aligned} x_2 &= -2a \cos \varphi + b \cos 2\varphi + r \cos(\psi + 2\varphi); \\ y_2 &= 2a \sin \varphi - b \sin 2\varphi - r \sin(\psi + 2\varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a$  – радиус начальной окружности;  $\varphi$  – угол поворота координат в направлении вращения роторов.

Во время работы вакуумного насоса на определенных углах поворота роторов между ними образуется недопустимо большой зазор, что ведет к значительному увеличению перетечек газа. Чтобы избежать этого, участок  $KL$  (рис. 2) от начальной окружности до головки, описанный радиусом  $r$ , выполняют по эпициклоиде, т. е. получают циклоидально-окружные профили.

Уравнения эпициклоиды на участке  $KL$  в координатах  $X_1O_1Y_1$  имеют вид:

$$x_1 = a(2 \cos \beta - \cos 2\beta); \quad y_1 = a(2 \sin \beta - \sin 2\beta), \quad (3)$$

где  $\beta$  – угол поворота производящей окружности, точка на которой описывает данную эпициклоиду.

Радиус-вектор  $\rho$  точки эпициклоиды и его угол  $\beta$  можно рассчитать по формулам:

$$\rho = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}; \quad \beta = \arctg \left( \frac{y_1}{x_1} \right). \quad (4)$$

Для того чтобы в процессе работы роторы не заклинило, при проектировании между роторами, роторами и корпусом, роторами и торцовыми крышками необходимо предусмотреть зазоры. Зазоры между роторами и роторами и корпусом обеспечивают путем занижения профилей роторов в торцевом сечении путем построения эквидистанты профиля, которую называют номинальным профилем.

Для уменьшения перетечек газа через щели между ротором и корпусом головку профиля ротора выполняют радиусом  $R$ , проведенным из центра ротора (рис. 3). В этом случае для герметического профиля ротора часть впадины  $ABC$  строят как огибающую участка  $DE$  головки сопряженного ротора.

Огибающая окружности радиусом  $R'$  есть окружность радиусом  $R'' = 2a - R'$  с центром в точке  $O_2$  – начале координат  $X_2O_2Y_2$ .

Однако окружные профили не являются наилучшими. Графические и теоретические исследования показали, что у двухроторного вакуумного насоса с циклоидальным профилем роторов площадь полезного объема увеличивается на 15 %. В таких роторах головку ротора изготавливают по эпициклоиде, а впадину ротора по гипоциклоиде (рис. 4). Такое решение также позволяет снизить перетечки газа.

Уравнения эпициклоиды (6) и гипоциклоиды (7) в координатах  $XOY$  имеют вид:

$$x = (R+r)\cos\varphi - r\cos\left(\frac{R+r}{r}\varphi\right); \quad y = (R+r)\sin\varphi - r\sin\left(\frac{R+r}{r}\varphi\right); \quad (5)$$

$$x = -(R-r)\cos\varphi - r\cos\left(\frac{R-r}{r}\varphi\right); \quad y = (R-r)\sin\varphi - r\sin\left(\frac{R-r}{r}\varphi\right), \quad (6)$$

где  $R$  – радиус основной окружности, м;  $r = \frac{R}{4}$  – радиус ролика, описывающего профиль ротора, м;  $\varphi$  – угол наклона прямой, проходящей через точку  $O$  и центр описывающего ролика к оси  $OX$ , град.

Эпициклоиду и гипоциклоиду получают графическим методом (рис. 5). Из полученных кривых формируется графический профиль. Для построения реального профиля необходимо определить зазоры, затем строится его эквидистанта, т. е. номинальный профиль (рис. 6). Для изготовления ротора на станках с ЧПУ определяются координаты точек профиля в системе координат  $XOY$ .

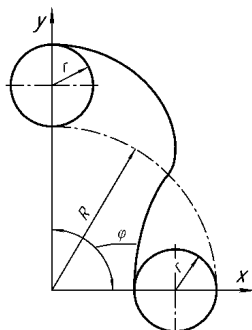


Рис. 4. Циклоидальный профиль роторов

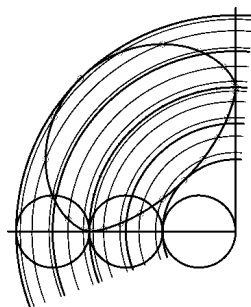


Рис. 5. Построение эпициклоиды и гипоциклоиды

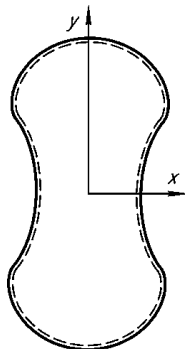


Рис. 6. Геометрический и реальный профиль

Учитывая сложность профилирования роторов насоса типа Рутс и принимая во внимание большой полезный объем у роторов с циклоидальным профилем, можно сделать вывод, что применение двухроторного вакуумного насоса с циклоидальным профилем роторов будет наиболее целесообразно. При этом небольшие роторы изготавливаются на универсальных станках с ЧПУ секциями, которые соединяют вместе при сборке вакуумного насоса.

Производство больших роторов является нецелесообразным, так как требует использование специализированных станков, а производство таких насосов будет единичным.

#### Литература

1. Механические вакуумные насосы / Е. С. Фролов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 288 с.
2. Смирнов, В. И. Курс высшей математики / В. И. Смирнов. – М. : Наука, 1974. – 479 с.