Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, т. LXIX, вып. 1, 1975 г.

НАПРАВЛЯЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕХАНИЗМА РОТАЦИОННЫХ МАШИН ОСЕВОГО ТИПА

В.И.ВДОВИЧЕНКО

Принцип действия механизма ротационных машин осевого типа подробно рассмотрен ранее[x]. Характерной особенностью этих машин является принудительное движение пластин (лопаток) вдоль оси вращения ротора, осуществляемое за счет взаимодействия их со специальными направляющими поверхностями, вид которых полностью определяет рабочие свойства машины. Направляющие поверхности должны удовлетворять следующим требованиям: 1) для непрерывного повторения рабочих циклов машины поверхность должна быть замкнутой; 2) характер циклического изменения координат поверхности должен обеспечивать плавное изменение ускорения и его небольшую величину; 3) для уплотнения рабочей камеры поверхность должна иметь с пластиной линейный контакт; 4) изготовление выбранной поверхности должно быть возможно на существующем оборудовании с необходимой степенью точности.

Этим условиям удовлетворяют линейчатые поверхности, образованные вращением отрезка прямой вокруг некоторой оси (рис. 1). Отрезок прямой AB вращается вокруг оси z так, что концы отрезка сохраняют постоянные расстояния R и r от оси вращения, а точка B или A при этом вращении движется по направляющей кривой, лежащей на поверхности цилиндра, ось которого совпадает с осью вращения. На рис. 1 показан общий случай образования направляющей поверхности, когда отрезок AB не пересекает ось вращения и наклонен под некоторым постоянным углом к плоскости x, y. Частные случаи: а) отрезок AB параллелен плоскости x, y; б) угол $\angle AOB = 0$; отрезок AB

x) В.И.Вдовиченко. Геометрия рабочей камеры ротационной машины осевого типа. – Изв. вузов, "Машиностроение", 1970, № 10.

пересекает ось вращения и наклонен к плоскости x, y ; в) угол $AOB = 0$; отрезок AB параллелен плоскости x, y .

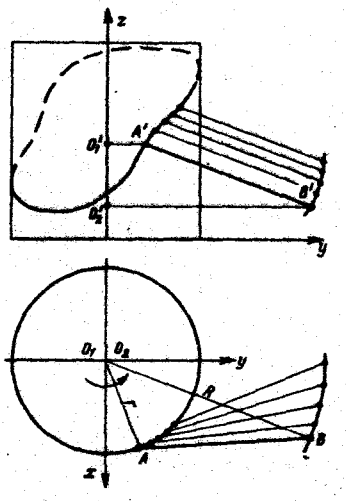

Рис.1. Образование направляющей поверхности движением отрезка прямой AB

Чтобы получить уравнение искомой поверхности, необходимо выбрать тип направляющей кривой. Из теории механизмов известно, что наилучшие динамические условия работы аналогичных механизмов обеспечиваются при изменении координаты z (см. рис. 1) по закону синуса, исключающему возникновение ударных нагрузок. Поэтому в качестве направляющей кривой выбран эллипс, полученный от пересечения прямого кругового цилиндра плоскостью, наклоненной к его оси (рис. 2), так как известно, что на развертке цилиндра он будет представлен синусоидой.

Пусть плоскость наклонена к горизонту под углом, тангенс которого определится из выражения

$$tg\,\phi = \frac{H}{2r}, \qquad (1)$$

где H – ход пластины ротационной машины.

Тогда в системе x_1 , y_1 , z уравнение этой плоскости в отрезках имеет вид

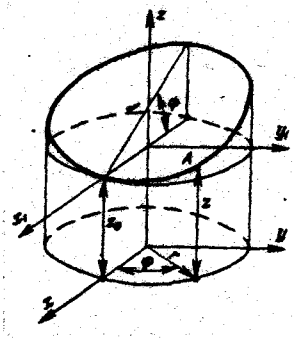

Рис. 2. К выводу уравнения направляющей кривой

$$\frac{x}{r} - \frac{z}{0{,}5H} = 1 , \qquad (2)$$

или в полярных координатах $x = \rho\cos\varphi$; $y = \rho\sin\varphi$.

$$\frac{\rho\cos\varphi}{r} + \frac{z}{0{,}5H} = 1 . \qquad (3)$$

Решая совместно уравнение (3) с уравнением поверхности цилиндра $\rho = r$, получаем уравнение направляющего эллипса, в котором угол φ отсчитывается от оси x против часовой стрелки:

$$z = 0{,}5H(1 - \cos\varphi) . \qquad (4)$$

В системе x, y, z уравнение направляющей кривой принимает вид

$$z = z_0 + 0{,}5H(1 - \cos\varphi) , \qquad (5)$$

где z_0 – начальная апликата, которая выбирается из соображений удобства вычислений.

Рассмотрим сначала частный случай уравнения направляющей поверхности, когда образующая AB параллельна плоскости x, y (случай а). Такая поверхность относится к разряду цилиндроидов. На рис. 3 показана горизонтальная проекция искомой поверхности. Найдем закон изменения апликаты этой поверхности для произвольного сечения вертикальной плоскостью, проходящей через ось z под углом φ (след этой плоскости $OB_{\varphi-\xi}$). Для точки A искомой поверхности апликата z определится уравнением (5), так как эта точка лежит на направляющей кривой. Для произвольной точки рассматриваемого сечения апликата z будет определяться углом

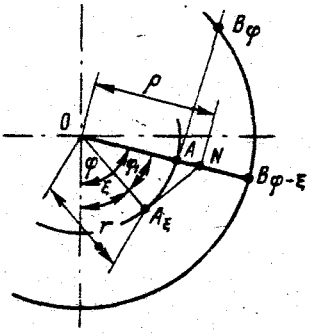

Рис. 3. К выводу уравнения направляющей поверхности

$$\xi = \varphi - \varphi_1 . \qquad (6)$$

Но φ_1 – переменная величина, однозначно связанная с полярным радиусом ρ зависимостями

$$\cos\varphi_1 = \frac{r}{\rho} , \qquad \sin\varphi_1 = \sqrt{1-\left(\frac{r}{\rho}\right)^2} ,$$

поэтому

$$\xi = \varphi - \arccos\frac{r}{\rho} . \qquad (7)$$

Апликата произвольной точки искомой поверхности определится по уравнению (5), если заменить в нем φ на ξ из уравнения (7):

$$z = z_0 + 0{,}5H\left[1 - \cos\left(\varphi - \arccos\frac{r}{\rho}\right)\right] . \qquad (8)$$

Для удобства вычислений это выражение можно представить в виде

$$z = z_0 + 0{,}5H\left[1 - \frac{r}{\rho}\cos\varphi - \sqrt{1-\left(\frac{r}{\rho}\right)^2}\sin\varphi\right] . \qquad (9)$$

В случае наклона образующей к горизонту под углом α координата произвольной точки N (рис. 4) будет определяться не только углом φ_1 , но и углом α , что видно на вертикальном сечении, проходящем через образующую $A_\xi N$. (см. рис. 3,4). Обозначим апликату коноида, определяемую формулой (9), через z_K , тогда апликата поверхности с наклонной образующей

$$z = z_к - NN_1 = z_к - A_ξ N tg\alpha \ .$$

Из рис. 4 имеем

$$A_ξ N = \rho \sin\varphi_1 = \rho\sqrt{1-\left(\frac{r}{\rho}\right)^2} = \sqrt{\rho^2 - r^2} \ ,$$

поэтому

$$z = z_к - \sqrt{\rho^2 - r^2}\, tg\alpha \ . \qquad (10)$$

Подставляя в выражение (10) значение $z_к$ из формулы (8), получаем уравнение направляющей поверхности общего вида

$$z = z_0 + 0{,}5H\left[1 - \cos\left(\varphi - \arccos\frac{r}{\rho}\right)\right] - \sqrt{\rho^2 - r^2}\, tg\alpha \ . \qquad (11)$$

Для поверхности типа б ($\alpha \neq 0$; $\angle AOB = 0$) $\arccos\frac{r}{\rho} = 0$, а уменьшение аппликаты за счет наклона образующей пропорционально разности $\rho - r$ и уравнение (11) принимает вид

$$z = z_0 + 0{,}5H\left[1 - \cos\varphi\right] - (\rho - r)tg\alpha \ . \qquad (12)$$

Для поверхности типа в ($\alpha = 0$; $\angle AOB = 0$) имеем

$$z = z_0 + 0{,}5H(1 - \cos\varphi) \ . \qquad (13)$$

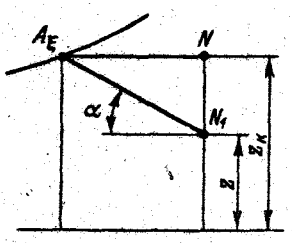

Рис. 4. К выводу уравнения направляющей поверхности с наклонной образующей

Уравнения (8), (11), (12), (13) позволяют определять объем рабочей камеры роторной машины, ограниченный направляющей поверхностью, поверхностью ротора и двумя смежными пластинами, причем поверхность ротора, ограничивающая рабочую камеру, представляет частный случай направляющей поверхности, отличающийся тем, что направляющей кривой для нее является окружность. Соответственно применяемому виду направляющей поверхности поверхность ротора может иметь четыре разновидности. Поверхность, соответствующая случаю а, получится из уравнения (8), если положить равным нулю второй член уравнения, следовательно,

$$z = z_0 \ . \qquad (14)$$

Это – уравнение плоскости, параллельной плоскости x, y и проходящей через направляющую окружность, отстоящую от плоскости x, y на величину z_0 . Поверхность (14) оказывается сопряженной также для направляющей поверхности типа в . Другими словами, уравнение (I4) является также частным случаем уравнения (13), соответствующим нулевому значению второго члена.

Поверхность ротора, сопряженная с направляющей поверхностью общего вида, получится из выражения (11), если положить в нем второй член

равным нулю:

$$z = z_0 - \sqrt{\rho^2 - r^2}\, tg\alpha \ . \qquad (15)$$

Это – уравнение поверхности усеченного гиперболоида вращения.

Аналогично, поверхность ротора, сопряженная с типом б , получается из уравнения (12) и представляет боковую поверхность усеченного конуса:

$$z = z_0 - (\rho - r)\, tg\alpha \ . \qquad (16)$$

Все полученные уравнения справедливы только для машин, у которых рабочий цикл равен времени одного оборота ротора. Направляющие поверхности многоцикловых машин отличаются от рассмотренных только видом направляющей кривой. Если за время одного оборота ротора совершается n рабочих циклов, то уравнение направляющей кривой будет иметь вид

$$z = z_0 + 0{,}5H\left(1 - \cos n\varphi\right) , \qquad (17)$$

а уравнение направляющей поверхности общего вида для многоцикловой машины выразится зависимостью

$$z = z_0 + 0{,}5H\left[1 - \cos n\left(\varphi - \arccos\frac{r}{\rho}\right)\right] . \qquad (18)$$

Что касается сопряженных поверхностей ротора, то в многоцикловых машинах они останутся без изменений.