



К. ИСАКОВ

КГУСТА ИМ. Н. ИСАНОВА,
БИШКЕК, КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА
E-MAIL: KUTTUBEK.ISAKOV.59@MAIL.RU

К. ISAKOV

KSUCTA N.A. N. ISANOV,
BISHKEK, KYRGYZ REPUBLIC

О. Ж. РАБАТ

КАЗАХСКАЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНАЯ АКАДЕМИЯ ИМ.Л.Б.ГОНЧАРОВА,
Г. АЛМАТЫ, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
E-MAIL: RABAT747@MAIL.RU

О. ZH. RABAT

KAZAKH AUTOMOBILE AND HIGHWAY ACADEMY N. A. L.B.GONCHAROV,
ALMATY, KAZAKH REPUBLIC

А. Н. САЛМАНОВА

КАЗАХСКАЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНАЯ АКАДЕМИЯ ИМ. Л.Б.ГОНЧАРОВА,
Г. АЛМАТЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
E.MAIL: ALINAK096@MAIL.RU

A. N. SALMANOVA

KAZAKH AUTOMOBILE AND HIGHWAY ACADEMY N. A. L.B.GONCHAROV,
ALMATY, KAZAKH REPUBLIC

E.mail. ksucta@elcat.kg

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДРОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ С ЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

THE JUSTIFICATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF WORKING ORGANS OF A CRUSH MACHINE WITH CYCLOIDAL MOTION

Макалада циклоиддүү кыймыл менен иштеген майдалоочу машинанын жумушчу органдарынын оптималдуу геометриялык параметрлерин негиздөө берилет жана ийри гипотрохонд түрүндөгү валканын кыймылынын траекториясы сүрөттөлөт. Мындай кыймыл ички илинүүчү борбордук тиштүү дөңгөлөктөн жана сателлиттен туруучу жөнөкөй планетардык механизмдин жардамы менен ишке ашырылат. Валканын туурасынан кесилген контурунун чекити иштетүүчү чекиттер болуп саналат.

Чечүүчү сөздөр: майдалоочу машина, жумушчу орган, циклоиддүү кыймыл, геометриялык параметрлер, жалпак көп бурчтуу фигура.

В статье дается обоснование оптимальных геометрических параметров рабочих органов дробильной машины с циклоидальным движением и описывается траектория движения валка в виде кривой гипотрохоиды. Такое движение обеспечивается с помощью простейшего планетарного механизма, состоящего из центрального зубчатого колеса внутреннего зацепления и сателлита. Точки контура поперечного сечения валка являются производящими точками.

Ключевые слова: дробильная машина, рабочий орган, циклоидальное движение, геометрические параметры, плоская многоугольная фигура.

In this article given the justification of optimal geometrical parameters of working organs of a crush machine with cycloidal motion and the roller motion trajectory is described as crooked giptrohoidoes. Such motion is provided with the simplest planetary mechanism consisting of central gear-wheel of the internal hooking and sattelite. The contour points of cross-sectional of roller are productive points.

Key words: a crush machine, working organ, cycloidal motion, geometrical parameters, flat polygonal figure.

Поперечное сечение вала представляет собой плоскую многоугольную фигуру (циклоидальное тело постоянной ширины), точки которой при вращательном движении вокруг двух параллельных осей описывают кривые линии – гипотрохида (гипоциклоиды) [1].

Гипотрохида (рис.1.) - это плоская кривая 14, описываемая производящей точкой M, жестко связанной с производящим кругом 11 с радиусом r , который катится внутри и без скольжения по неподвижной направляющей окружности 10 с радиусом R .

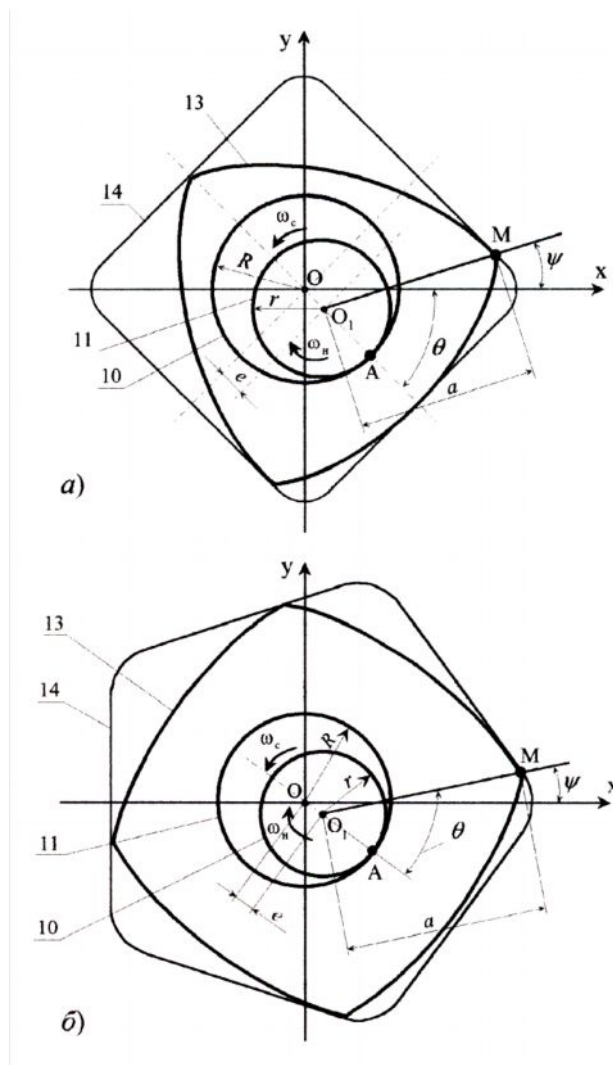


Рис.1. Образование гипотрохид

Такое движение обеспечивается с помощью простейшего планетарного механизма, состоящего из центрального зубчатого колеса внутреннего зацепления и сателлита. Зубчатое колесо является направляющей окружностью, сателлит производящей. Точки контура поперечного сечения вала являются производящими точками [2].

Эпитрохида (эпициклоида) – это плоская кривая 16 (рис.2), описываемая производящей точкой M, жестко связанной с производящей окружностью 10 с радиусом R , которая обкатывается снаружи и без скольжения по неподвижному направляющему кругу 11 с радиусом r .

у сом r .

Образование гипо и эпитрохрид реализуется с помощью планетарного редуктора. Образование гипотрохида связано с обкатыванием сателлитом 11 с радиусом делительной окружности r неподвижного коронного колеса 10 с радиусом делительной окружности R . Образование эпитрохида связано с обкатыванием колеса 10 внутреннего зацепления неподвижной шестерни 11 внешнего зацепления с радиусом делительной окружности r .

Форма и количество ветвей гипотрохида 14 зависят от величины производящего радиуса a (a – расстояние от центра производящего круга до производящей точки) и от соотношения радиусов R и r (рис.1, а, б).

Если R и r относятся как целые числа, отличающиеся на единицу, например:

$$\frac{R}{r} = \frac{z+1}{z} = 3/2: 4/3: 5/4 \text{ и т.д.},$$

то каждая из соответствующих гипотрохрид есть замкнутая плоская кривая, у которой $z+1$ конгруэнтных ветвей и столько же вершин (квадрат, пятиугольник и т.д.).

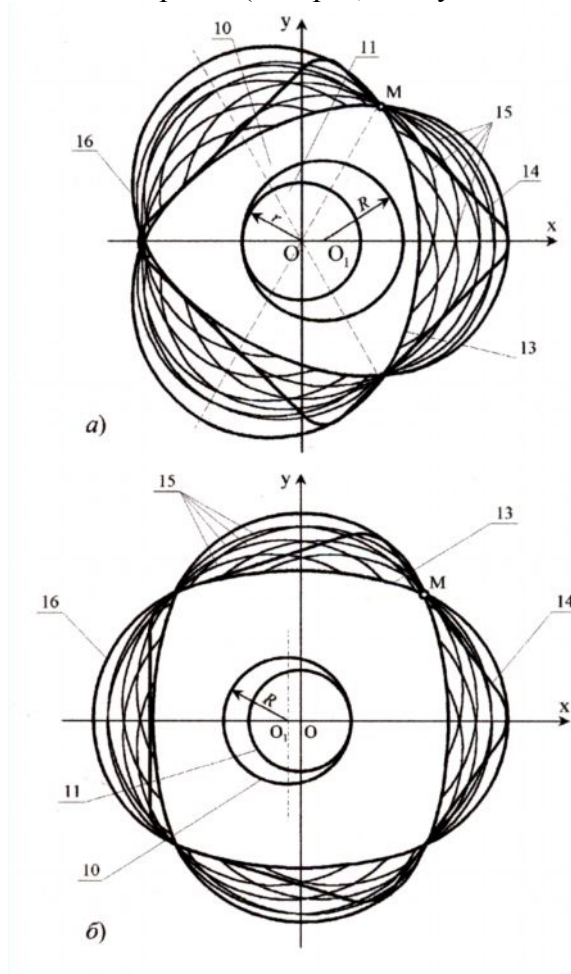


Рис.2. Образование внутренних и внешних огибающих семейства эпитрохрид

С учетом того, что:

$$\frac{R}{r} = \frac{z+1}{z} \quad \text{и} \quad e = R - r \tag{1}$$

радиус сателлита равен:

$$r = z \cdot e,$$

а радиус колеса:

$$R = e(z + 1) \tag{2}$$

Уравнение гипотрохида в параметрической форме имеет вид:



$$\left. \begin{aligned} x &= e \cos \theta + a \cos \psi \\ y &= -e \sin \theta + a \sin \psi \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где $e = 00_1 = (R - r)$ - эксцентриситет (длина водила); θ - угол поворота эксцентриситета вокруг оси 0; ψ - угол поворота сателлита вокруг оси 0; a - производящий радиус.

С учетом того, что:

$$\frac{R}{r} = \frac{z+1}{z}, e = R - r, e = \frac{r}{z}, \psi = -\frac{\theta}{z}, \quad (4)$$

уравнение гипотрохицы можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= e \cos z\psi + a \cos \psi \\ y &= -e \sin z\psi + a \sin \psi \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

или

$$\left. \begin{aligned} x &= r \left(\frac{1}{z} \cos z\psi + c \cos \psi \right) \\ y &= r \left(-\frac{1}{z} \sin z\psi + c \sin \psi \right) \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где $c = \frac{a}{r}$ - параметр формы гипотрохицы.

$$\frac{a}{r} = c$$

В зависимости от величины отношения $\frac{a}{r}$ ветви гипотрохицы в общем случае могут быть вогнутыми, выпуклыми или близкими к прямолинейным. Например, при $z \geq a/r \geq (z-1)$ ветви гипотрохицы 14 практически совпадают с прямыми линиями. Отклонение от прямой имеет место в вершинах гипотрохицы, где точка М описывает плавную кривую с большой кривизной (рис.1).

В контур гипотрохицы 14 вписывается свободно ориентирующаяся в нем равносторонняя плоская многоугольная фигура 13-внутренняя огибающая семейства эпитрохицы 15 (рис.1, 2).

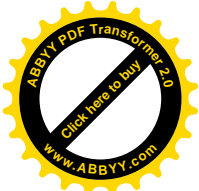
Внутренняя огибающая семейства эпитрохид 15 образуется следующим образом. Если гипотрохицу жестко связать с колесом 10 с внутренними зубьями и обкатывать его вокруг шестерни 11, то точки гипотрохицы опишут семейство кривых 15 –эпитрохицы, имеющих внешнюю 16 и внутреннюю 13 огибающие (рис.2, а, б). Контур внешней 16 и внутренней 13 огибающих имеют по z ветвей и вершин, т.е. на единицу меньше, чем у самой гипотрохицы 14. Внутренняя огибающая 13 представляет собой равносторонний многоугольник с выпуклыми сторонами, при $z=2$ – линзу; при $z=3$ – треугольник; при $z=4$ – квадрат и т.д.

Валки (рабочие органы) дробильной машины 2 выполнены таким образом, что их поперечные сечения совпадают с контуром внутренней огибающей 13, т.е. с контуром равносторонней многоугольной фигуры. Если такую фигуру жестко связать с сателлитом 10, то при обкатывании его внутри коронного колеса, ее вершины будут описывать исходную гипотрохицу 14, а боковые стороны будут перекатываться с некоторым скольжением по ветвям гипотрохицы не выходя за ее контур.

Таким образом, траекторией движения всех вершин поперечного сечения вала является одна и та же гипотрохица 14.

Рабочие органы расположены в корпусе 1 дробилки на некотором расстоянии друг от друга таким образом, что поперечное сечение и траектория движения вершин одного из них являются зеркальным отображением поперечного сечения и траектория движения вершин другого. Причем одна из ветвей траектории движения вершин поперечного сечения каждого из валков является вертикальной. Вертикальные ветви траекторий находится на расстоянии друг от друга, равном ширине разгрузочной щели.

Как показано выше линии гипотрохид, описываемые вершинами внутренних



оггибающих, близки по форме к правильному треугольнику (при $\frac{R}{r} = 3/2$), квадрату (при $\frac{R}{r} = 4/3$), пятиугольнику (при $\frac{R}{r} = 5/4$), шестиугольнику (при $\frac{R}{r} = 6/5$) и т.д. с криволинейными или прямолинейными сторонами в зависимости от величины параметра формы s .

Радиус кривизны гипотрохоиды в любой точке есть функция $\rho = f(a, z, e, \varphi)$ и определяется следующими образом [3]:

$$\rho = \frac{[(x^1)^2 + (y^1)^2]^{3/2}}{\begin{vmatrix} x^1 & y^1 \\ x^{11} & y^{11} \end{vmatrix}} \quad (7)$$

Дифференцируя x и y выражения (6) один и два раза, получим:

$$\begin{aligned} x^1 &= -r(\sin z\psi + c \sin \psi) \\ y^1 &= r(-\cos z\psi + c \cos \psi) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} x^{11} &= -r(z \cos z\psi + c \cos \psi) \\ y^{11} &= r(z \sin z\psi + c \sin \psi) \end{aligned}$$

Подставляя полученные выражения в формулу (7) и делая соответствующие преобразования найдем, что:

$$\rho = \frac{r[1 + c^2 - 2c \cos \psi (z + 1)]^{3/2}}{-z + c^2 + c(z - 1) \cos \psi (z + 1)} \quad (9)$$

Тогда кривизна гипотрохоиды:

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{-z + c^2 + c(z - 1) \cos \psi (z + 1)}{r[1 + c^2 - 2c \cos \psi (z + 1)]^{3/2}} \quad (10)$$

Для нахождения значения параметра формы s , при котором ветви гипотрохоиды имеют прямолинейные участки при заданном значении z , приравниваем к нулю кривизну гипотрохоиды:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\begin{vmatrix} x^1 & y^1 \\ x^{11} & y^{11} \end{vmatrix}}{[(x^1)^2 + (y^1)^2]^{3/2}} = 0 \quad (11)$$

или

$$\begin{vmatrix} x^1 & y^1 \\ x^{11} & y^{11} \end{vmatrix} = 0.$$

Тогда, используя выражение (10), имеем:

$$c^2 + c(z - 1) \cos \psi (z + 1) - z = 0 \quad (12)$$

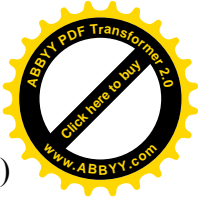
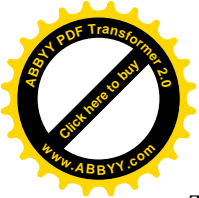
Наибольший интерес представляет значение параметра формы s , при котором кривизна

в середине ветви гипотрохоиды равна нулю, т.е. при значении угла $\psi = \frac{\pi}{z + 1}$. При $z=3$, $\psi = 45^\circ$,

при $z=4$, $\psi = 60^\circ$; при $z=5$, $\psi = 30^\circ$ и т.д. Подставляя значение $\psi = \frac{\pi}{z + 1}$ в квадратное уравнение (12) и решая его относительно s получим:

$$c = z \quad (13)$$

Так как:



$$a = c \cdot z, \quad a \cdot r = z \cdot e, \quad \text{то} \quad a = z^2 \cdot e \quad (14)$$

Таким образом, при $c = z$ и $a = z^2 \cdot e$ ветви гипотрохоиды в своей средней части имеют прямолинейные участки.

Из уравнения (10) следует, что ветви гипотрохоиды имеют практически прямолинейные участки в интервале изменения c ; $(z - 1) \leq c \leq z$. При значении c больше чем z ветви гипотрохоиды становятся выпуклыми, а при c меньше чем $(z - 1)$ – вогнутыми.

В контур гипотрохоиды, состоящей из четырех ветвей (квадрат) при $z = 3$ и $c = 3$ вписывается равносторонний произвольно ориентирующийся в нем треугольник с выпуклыми сторонами (внутренняя огибающая) (рис.2, а). В контур гипотрохоиды, состоящей на пяти ветвей (правильный треугольник) при $z = 4$ и $c = 4$ вписывается квадрат с выпуклыми сторонами (внутренняя огибающая) (рис.2, б) и т.д.

Основные геометрические параметры планетарного механизма и рабочего органа дробилки при известной форме поперечного сечения валка определяются через величину эксцентриситета e .

Задавшись величиной e можно определить величину радиуса производящей окружности (сателлита) r – по формуле (1); величину радиуса направляющей окружности (центрального зубчатого) колеса R – по формуле(2); величину производящего радиуса a – по формуле (14).

Выводы.

1. Если рабочие органы дробилки - валки выполнить таким образом, чтобы их сечения совпадали с контуром внутренней огибающей и расположить их рядом на раме с зазором так, чтобы сечение одного из них было зеркальным отображением сечения другого, то при вращении валков вокруг двух параллельных осей вершины каждого из сечений будут описывать одинаковые гипотрохоиды с прямолинейными ветвями, а боковые образующие сечений будут перекашиваться с некоторым скольжением по этим ветвям как по направляющим. Благодаря этому величина зазора между валками в зоне дробления остается постоянной, что позволяет получить продукт дробления с заданной максимальной крупностью, и минимальной энергоемкостью процесса дробления.

2. Размеры поперечного сечения многогранного (циклоидального) валка с циклоидальным движением в два раза меньше по сравнению с размерами поперечного сечения эквивалентного по захватывающей способности цилиндрического валка.

3. Основные параметры планетарного механизма и циклоидального рабочего органа дробилки при известной форме поперечного сечения валка определяются через величину эксцентриситета e . Задавшись величиной e можно определить величину радиуса производящей окружности (сателлита) $r = z \cdot e$; величину радиуса направляющей окружности (центрального зубчатого колеса) $R = e (z + 1)$; величину производящего радиуса $a = c \cdot z = z^2 \cdot e$.

Список литературы

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике [Текст] / И.Н. Бронштейн, К.А. Семедяков. - М.: Наука, 1981. – 608 с.
2. Недорезов И.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия [Текст] / И.А. Недорезов, Р.А. Кабашев. - Москва – Алматы, Бастау, 2013. – 444 с.
3. Ли С.В. Проектирование и конструирование строительно-дорожных машин с планетарно-роторным движением рабочих органов [Текст] / С.В.Ли //Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы: 2004. - №4. – С. 68-73.