

УДК 621. 869

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ СО СЛОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

*Рабат О.Ж., Ли С.В., Мурзахметова У.А., Нурғалиева М.Р.*

*Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, г.Алматы*

**Ключевые слова:** валковая дробилка, рабочий орган, кубообразный щебень, циклоида, сложное (циклоидальное) движение, взаимоогibaющие кривые, ротор, сателлит, гипотрохида, удельная энергоёмкость, металлоёмкость, разгрузочная щель, производительность.

**Аннотация.** В работе обоснованы конструктивные особенности новой валковой дробилки с циклоидальными валками и установлены ее геометрические параметры. Валки совершают сложное (циклоидальное) движение, обеспечивая минимально возможную энергоёмкость процесса дробления. В рабочем органе машины использованы свойства взаимоогibaющих циклоидальных кривых и тел постоянной ширины. Это позволило значительно уменьшить вес и габариты машины. Размеры поперечного сечения циклоидальных валков новой конструкции дробилки в два раза меньше, чем в традиционных валковых дробилках. В силу планетарно-роторного движения валков циклоидальной формы и их конструктивных особенностей величина минимального зазора между валками (ширина разгрузочной щели) остается постоянной. Это обеспечивает определенную максимальную крупность готового продукта дробления и выход кубообразного щебня.

## **DESIGN FEATURES ROLL MILL WITH A COMPLEX MOVEMENT OF WORKING BODIES**

*Rabat O.Zh., Li S.V., Murzakhmetova U.A., Nurgaliyeva M.R.*

*Kazakh Automobile and Highway Academy named after L.B. Goncharov, Almaty*

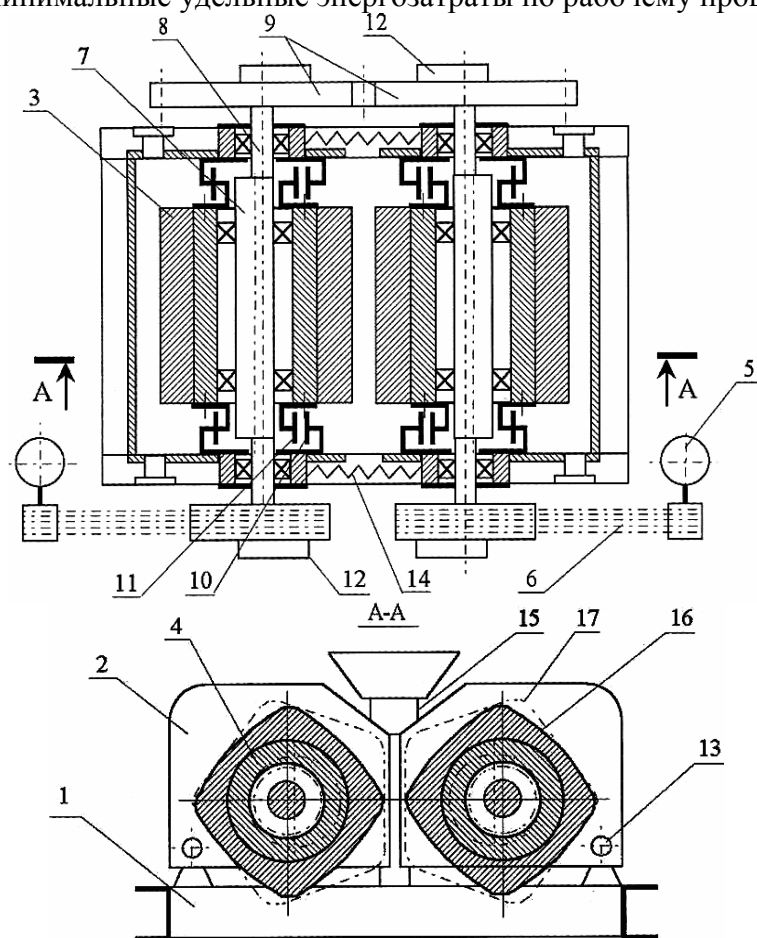
**Keywords:** roller crusher, working organ, cuboid crushed stone, cycloid, complex (cycloidal) motion, mutually bending curves, rotor, satellite, hypotrochoid, specific energy intensity, metal capacity, discharge gap, productivity.

**Abstract.** The design features of the new roller crusher with cycloidal rollers are justified and its geometric parameters are established. Rolls perform complex (cycloidal) motion, providing the minimum possible energy intensity of the crushing process. The working part of the machine uses the properties of mutually bending cycloid curves and bodies of constant width. This allowed to significantly reduce the weight and dimensions of the machine. The cross-sectional dimensions of the cycloidal rolls of the new design of the crusher are half that of conventional roll crushers. Due to the planetary-rotor motion of cycloidal rolls and their design features, the value of the minimum gap between the rolls (width of the discharge gap) remains constant. This ensures a certain maximum size of the finished crushing product and the yield of the cube-shaped crushed stone.

Рабочее оборудование валковой дробилки с циклоидальным движением рабочих органов (РО), предназначенное для выполнения определенных операций, состоит из рабочего органа, непосредственно взаимодействующего с разрабатываемым, материалом; исполнительных механизмов, обеспечивающих заданные движения рабочего органа, и несущих

конструкций, воспринимающих нагрузки от рабочего органа и передающих их на раму базовой машины. В рабочих органах с планетарным движением движущее усилие от привода к соответствующим элементам рабочего оборудования передается через эксцентриковый вал-водило на сателлиты и соответствующий ротор (обычно планетарный редуктор выполняется встроенным в корпус рабочего органа) [1].

На рисунке 1 приведена схема конструкции дробилки с циклоидальным движением валков. При вращении рабочих органов вокруг двух параллельных осей вершины каждого из сечений будут описывать одинаковые циклоиды с прямолинейными ветвями, а боковые образующие сечений будут перекашиваться с некоторым скольжением по этим ветвям, как по направляющим. Именно эту особенность движения рабочих органов (по взаимогнбающим кривым) использует в дробильной машине, что позволит получить минимальные удельные энергзатраты по рабочему процессу.



- 1 - рама; 2 - блок; 3 - дробящая плита; 4 - ступица; 5 - электродвигатель;  
 6 - клиноременная передача; 7 - водило; 8 - приводной эксцентриковый вал;  
 9 - зубчатые колеса; 10 - коронное колесо планетарного редуктора;  
 11 - сателлит; 12 - противовесы; 13 - шарнир; 14 - пружина; 15 - упор;  
 16 - многоугольник (сечение валка); 17 - гипоциклоида

Рис. 1. Схема конструкции дробилки

Рабочие органы дробильной машины выполнены по циклоидальным кривым (тело постоянной ширины) и они движутся по взаимоогibaемым циклоидальным кривым. Рабочий орган (валок) имеет больший периметр, чем традиционный валок и, следовательно, будет меньше изнашиваться. Такое движение (планетарное) РО позволяет не только значительно уменьшить вес и габариты машины, но и получить новые технологические возможности для дробильных машин. Вследствие изменения скорости движения РО (они движутся не равномерно по определенному закону) получается импульсное (вибрационное) воздействие на обрабатываемый материал, что снижает усилие дробления и соответственно энергозатраты на рабочий процесс.

Внешний контур поперечного сечения каждого из циклоидальных валков представляет собой равносторонней многоугольник, совпадающий с внутренней огибающей семейства гипоциклоид.

Валки являются РО дробления четырехгранной формы. Внутри валка расположена планетарная передача с внутренним зацеплением. За счет планетарной передачи простое вращательное движение вала преобразует в сложное движение наружных поверхностей плит валка, обеспечивая постоянный зазор между поверхностями отдельных плит, число плит равно  $z=4$ . Причем величина минимального зазора между валками остается постоянной в силу конструктивных особенностей рабочего органа (здесь нами использовано свойство кривых постоянной ширины - гипоциклоид).

Практически вся рабочая поверхность валка является активной, т.е. взаимодействует с дробимым материалом. Она в несколько, примерно в 2 раза больше, а следовательно, интенсивность износа во столько же раз меньше, чем в традиционной дробилке при одинаковой производительности. Это позволяет повысить срок службы дробящих плит, что в свою очередь приводит к сокращению затрат, связанных с их заменой и простоем оборудования и в конечном итоге к снижению себестоимости готовой продукции [2].

При одинаковой кривизне рабочих поверхностей размеры поперечного сечения валков примерно в два раза меньше, чем в обычных валковых дробилках [1]. Кроме траектории движения и размеров звеньев рабочего оборудования, определяющих конфигурацию и размеры зоны его действия, кинематика рабочих органов определяется также скоростями и ускорениями его отдельных звеньев (ротора и эксцентрикового вала). Очевидно, что если нет каких-либо ограничений, налагаемых на скорости рабочих органов, обусловленных их спецификой взаимодействия со средой, то увеличение скорости, с точки зрения повышения производительности машины, является весьма значительным.

Кинематическая схема привода РО реализуется с помощью планетарного механизма Джеймса, который содержит центральное зубчатое колесо внутреннего зацепления, водило и сателлит (планетарный) внешнего зацепления, обкатывающийся внутри коронного зубчатого колеса. Водило получает вращение от приводного двигателя.

Рабочий орган валковой дробилки соосно связан с сателлитом и совершает с ним планетарное движение, при этом вершины описывают ту, или иную гипоциклоиду.

Рассмотрим геометрические характеристики рабочего органа (валка) с точки зрения конструкторской документации на опытно-промышленный образец, разработанный в КазАДИ на основе патента №29666 РК [3].

Эксцентриситет  $e$  эксцентриков (длину водила) принимаем равным  $e=30$  мм. Тогда диаметр сателита планетарного редуктора:

$$d_c = 8e = 8 \cdot 30 = 240 \text{ мм}.$$

Диаметр коронного колеса:

$$D_k = 10e = 10 \cdot 30 = 300 \text{ мм}.$$

Отношение

$$\frac{D_k}{d_c} = \frac{300}{240} = \frac{5}{4}. \quad (1)$$

Диаметр цилиндрического гладкого валка, эквивалентного по захватывающей способности четырехгранному валку с выпуклыми гладкими гранями (разрабатываемому) в мм.

$$D_2 = 20d, \quad (2)$$

где  $d$  – размер, характеризующий максимальную крупность исходных кусков дробимого материала, мм ( $d=100$  мм).

$$D_2 = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ мм}.$$

Диаметр цилиндрического рифленого валка при указанных выше условиях

$$D = 10d = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ мм}. \quad (3)$$

Радиус кривизны стороны поперечного сечения гладкого валка (2)

$$R_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ мм}. \quad (4)$$

Радиус кривизны поперечного сечения квадратного рифленого валка (рисунок 2)

$$R = \frac{D}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ мм}. \quad (5)$$

Ориентируясь на рифленые квадратные валки и обеспечивая некоторый запас по захватывающей способности принимаем  $R = 660$  мм. Тогда диаметр эквивалентного цилиндрического валка:

$$D = 2R = 2 \cdot 660 = 1320 \text{ мм}. \quad (6)$$

Ширина и высота поперечного сечения квадратного валка

$$B = R - 2e = 660 - 2 \cdot 30 = 600 \text{ мм}. \quad (7)$$

Диагональ поперечного сечения валка

$$C = B + 4e = 600 + 4 \cdot 30 = 720 \text{ мм}. \quad (8)$$

Длина дуги стороны поперечного сечения валка

$$l_d = \beta \cdot R, \quad (9)$$

где  $\beta$  - центральный угол обхвата дуги стороны поперечного сечения валка, рад ( $\beta = \pi/4$ ).

$$l_d = 3,14 \cdot 660 / 4 = 518,1 \text{ мм.}$$

Длину валка принимаем  $L = 500 \text{ мм.}$

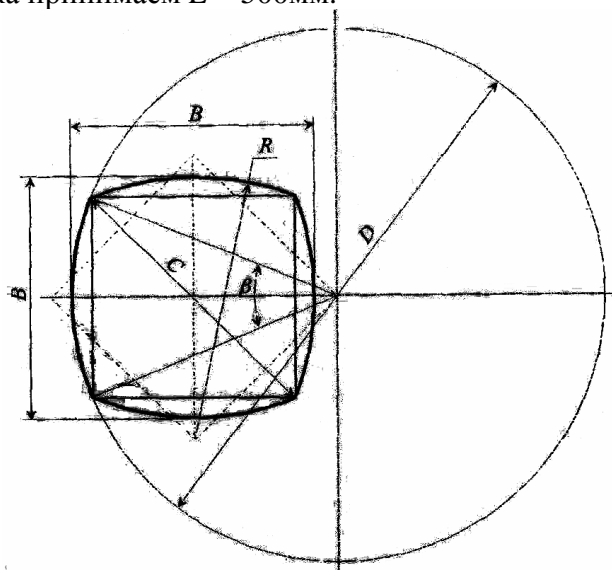
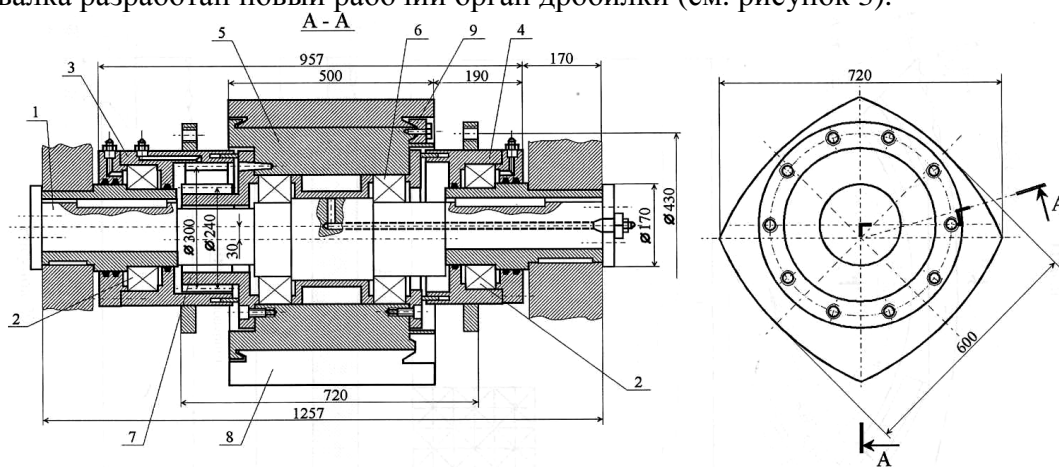


Рис. 2. К определению основных геометрических размеров валка

Согласно расчетам по определению основных геометрических размеров валка разработан новый рабочий орган дробилки (см. рисунок 3).



1 - вал; 2 - подшипники; 3 - корпус зубчатого колеса; 4 - корпус; 5 - корпус;  
6 - подшипник; 7 - сателлит; 8 - наружная поверхность плиты; 9 - прихват

Рис. 3. Рабочий орган (валок)

Боковая (рабочая) поверхность циклоидального валка образована рабочими поверхностями отдельных плит 8 (см. рисунок 3). Число плит равно  $z=4$ . Плиты 8 жестко закреплены на ступицах сателлитов 7. Контур поперечного сечения валка совпадает с контуром внутренней огибающей семейства эпитрохонд, образованного точками гипотрохонды, т.е. с контуром квадрата с выпуклыми сторонами. Ступицы сателлитов установлены на

эксцентриковой части вала 1 на двухрядных сферических роликовых подшипниках 2. Эксцентрик вала работает, как водило.

При вращении от привода валков сателлиты, обкатываясь внутри зубчатых колес, совершают планетарное движение, вращаясь каждый вокруг двух параллельных осей: вокруг оси эксцентрика и вместе с ним вокруг оси вала. Планетарное движение совершают и жестко связанные со ступицами четырехгранные валки, образованные дробящими плитами, вращаясь навстречу друг другу.

Таким образом, используя свойства циклоидальных кривых и тел постоянной ширины, а также циклоидальное (планетарное) движение рабочих органов, в КазАДИ разработана новая инновационная конструкция вала с циклоидальной формой.

### **Выводы**

1. Практически вся рабочая поверхность вала является активной, т.е. взаимодействует с дробимым материалом. Она в несколько, примерно в  $z$  раз больше, а, следовательно, интенсивность износа во столько же раз меньше, чем в щековой при одинаковой производительности. Это позволяет повысить срок службы дробящих плит, что в свою очередь приводит к сокращению затрат, связанных с их заменой и простоем оборудования и в конечном итоге к снижению себестоимости готовой продукции.

2. Криволинейная форма дробящих плит и планетарное движение валков позволяет создать значительные удельные давления на куски материала в зоне дробления, что улучшает условия для их разрушения.

3. Благодаря вращательному движению валков вокруг двух параллельных осей, динамические нагрузки, обусловленные инерционными силами и напряжения в элементах конструкции предлагаемой дробилки, ниже при прочих равных условиях, чем в элементах конструкции щековой дробилки с возвратно-качательным движением щеки, что позволяет снизить металлоемкость, повысить надежность работы.

4. При одинаковой кривизне рабочих поверхностей размеры поперечного сечения валков в предлагаемой конструкции дробилки примерно в два раза меньше, чем в обычных валковых дробилках.

### **Список литературы**

1. Недорезов И.А., Кабашев Р.А. Машины строительного производства и их рабочие среды взаимодействия. Москва – Алматы, Бастау, 2013. – 444 с.
2. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Кабашев Р.А., Ли С.В., Рабат О.Ж., Кабашев А.Р. Патент №29666 РК «Валковая дробилка». Оpubл. в БИ №3, 2015. – 5 с.

### **References**

1. Nedorezov I.A., Kabashev R.A. Construction machinery and their working environment of interaction. Moscow-Almaty, Bastau, 2013. - 444 p.
2. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crusher. Design, calculation, operation features. - Moscow: Mechanical Engineering, 1990. - 320 p.

3. Kabashev R.A., Lee S.V., Rabat O.Zh., Kabashev A.R. Patent No. 29666 RK "Roller crusher". Publ. in BI No. 3, 2015. - 5 p.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Рабат Ондабек Жанахметулы</b> – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой	<b>Rabat Andabak of Genomically</b> – doctor of technical Sciences, Professor, head of departrament
<b>Ли Сергей Васильевич</b> – д.т.н., профессор	<b>Sergey V. Li</b> – doctor of technical sciences, professor
<b>Мурзахметова Улбала Аскарровна</b> – к.т.н., ассоциированный профессор	<b>Albala A. Murzahmetova</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Нурғалиева Мерей Рахимжановна</b> – к.т.н., ассоциированный профессор	<b>Merey R. Nurgalieva akhimzhanovna</b> – candidate of technical sciences, associate professor
Кафедра «Транспортная техника и организация перевозок», Казахская автомобильно-дорожная академия (КазАДИ) им. Л.Б. Гончарова, г.Алматы, Казахстан	Department of "Transport equipment and organization of transportation", Kazakh automobile and road academy, Almaty, Kazakhstan

*Получена 29.10.2018*