DOI 10.52209/1609-1825_2024_1_301 УДК 621.869

Повышение эффективности процессов дробления с использованием новой конструкции валковой дробилки

[1]***МУРЗАХМЕТОВА Ульбала Аскарбековна,** к.т.н., декан, u_murzakhmetova@mail.ru,*
[1]**КАБАШЕВ Асхат Рахимжанович,** к.т.н., ассоциированный профессор, mirey7@yandex.ru,*
[1]**КАБАШЕВА Мерей Рахимжановна,** к.т.н., ассоциированный профессор, askatkabashev@gmail.com,*
[1]*Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, пр. Райымбека, 415в, Алматы, Казахстан,*
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *Для повышения эффективности процессов дробления и измельчения, технологических и технико-экономических характеристик валковых дробилок проводятся многочисленные научно-исследовательские работы по обоснованию модернизации основных рабочих органов дробильных машин, используются инновационные материалы и методы упрочнения поверхностей основных рабочих органов. В статье дано обоснование на эксплуатационную характеристику новой валковой дробилки с циклоидальными движениями и определены ее конструктивные геометрические параметры. Сложное циклоидальное движение валков обеспечивает минимально возможную энергоемкость процесса дробления. В рабочем органе дробилки использованы свойства взаимоогибающих циклоидальных кривых и тел постоянной ширины, которое позволило значительно уменьшить вес и габариты машины. Планетарно-роторное движение валков циклоидальной формы и их конструктивные особенности дают возможность уменьшить величину минимального зазора между валками, а ширина разгрузочной щели остается постоянной, которое обеспечивает максимальную крупность готового продукта дробления и выход кубообразного щебня.*

Ключевые слова: *дробление щебня, конструктивные геометрические параметры, планетарно-роторное движение валков, сложное циклоидальное движение, ротор, разгрузочная щель, производительность.*

Введение

Валковые дробилки широко применяются в строительной промышленности, особенно для измельчения вязких и влажных материалов. Валковые дробилки применяются также для вторичного дробления твёрдых пород (известняка, угля, различных руд и т.д.). Рабочим органом в валковой дробилке являются два цилиндра валка, вращающихся навстречу друг другу и раздвинутые на расстоянии, определяемое максимальным размером выходящего продукта. Материал, подлежащий дроблению, вследствие трения затягивается между валками и при этом постепенно измельчается.

Своевременное повышения качества и эффективности работы машин и агрегатов совершается только модернизацией материально-технической базы предприятий, в том числе и в строительстве. Постоянное повышение производства в транспортной инженерии характеризуется быстрым ростом интенсификации технологических режимов, созданием быстроходных энергоёмких машин, что неизбежно ставит всё более жёсткие требования к оборудованию, особенно работающему в цикловых режимах. Как правило, эти машины испытывают вибрацию и повышенные динамические нагрузки. И все это оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели работы валковых дробилок. Таким образом, работа, направленная на повышение эффективности эксплуатации валковых дробилок за счет совершенствования их конструкции, является, по нашему мнению, актуальной.

Рабочее оборудование валковой дробилки с циклоидальным движением рабочих

органов (РО), предназначенное для выполнения определенных операций, состоит из рабочего органа, непосредственно взаимодействующего с разрабатываемым материалом; исполнительные механизмы, обеспечивающие заданные перемещения рабочего органа, и опорные конструкции, воспринимающие нагрузки от рабочего органа и передающие их на раму базовой машины. В рабочих органах с планетарным движением движущая сила от привода к соответствующим элементам рабочего оборудования передается через эксцентриковый вал-каретку на сателлиты и соответствующий ротор (обычно планетарный редуктор выполняют встроенным в корпус рабочий орган) [1, 2].

С целью повышения эффективности процессов дробления и измельчения, технологических и технико-экономических характеристик валковых дробилок проводятся многочисленные научно-исследовательские работы по обоснованию модернизации основных рабочих органов дробильных машин, используются инновационные материалы и методы упрочнения поверхностей основных рабочих органов.

Целью работы является проверка работоспособности дробилки с циклоидальным движением рабочих органов, определение оптимальных оборотов валков для получения качественного кубообразного щебня.

Методы исследования. Формула для определения параметров дробилки с циклоидальным движением рабочих органов дают о них лишь приблизительное представление. Для получения и проверки более точных расчетных данных необходимо использовать результаты теоретических и экспериментальных исследований технологических параметров. В работе представлена конструктивная схема экспериментальной дробилки с циклоидальным движением рабочих валков (рисунок 1), а также общий вид дробилки (рисунок 2) [3].

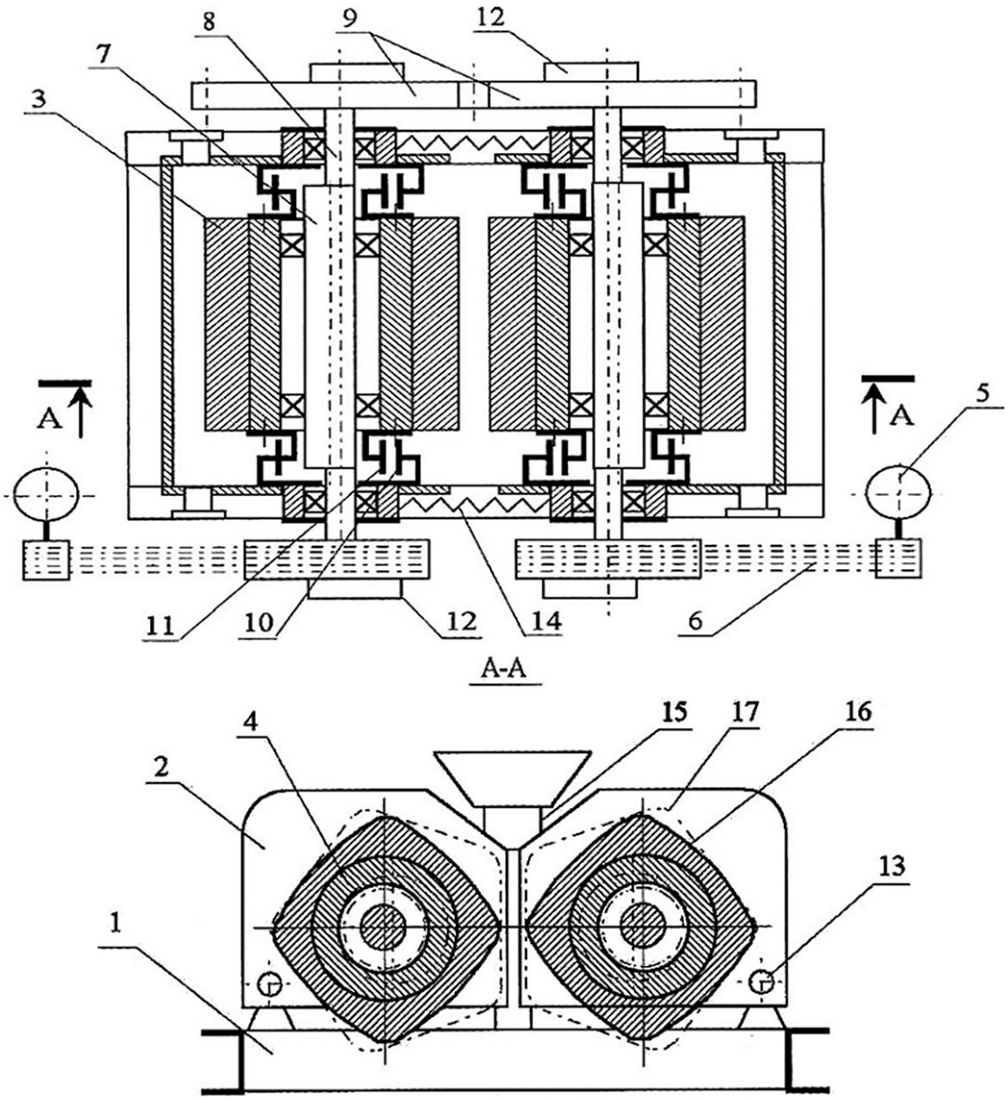
На рисунке 1 представлена усовершенствованная конструктивная схема дробилки с циклоидальным движением валков. При вращении рабочих органов вокруг двух параллельных осей вершины каждой из секций будут описывать одни и те же циклоиды с прямолинейными ветвями, а боковые образующие секций будут перекатываться с некоторым скольжением по этим ветвям, как по направляющим, и это особенность движения рабочих органов по взаимно изгибающимся кривым, которую мы используем в дробильной машине, что позволяет получить минимальные удельные затраты энергии в рабочем процессе. Рабочие органы дробильной машины выполнены по циклоидальным кривым, корпус у которых остается постоянной ширины, и движутся по взаимно изгибающимся циклоидальным кривым. Рабочий орган валка имеет больший периметр, чем у традиционного валка, и, следовательно, будет меньше изнашиваться. Такое планетарное движение рабочего органа позволяет не только существенно уменьшить массу и габариты машины, но и получить новые технологические возможности дробильных машин. За счет изменения скорости движения РО они движутся неравномерно по определенному закону, в результате чего на обрабатываемый материал оказывается импульсное, вибрационное воздействие, что снижает силу дробления и, соответственно, энергозатраты на материал.

Внешний контур поперечного сечения каждого из циклоидальных валков представляет собой равносторонний многоугольник, совпадающий с внутренней оболочкой 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. Величина которого имеет минимальный зазор между валками и остается постоянной в силу конструктивных особенностей рабочего органа.

Практически вся рабочая поверхность валка активна, т.е. взаимодействует с измельчаемым материалом. Она в несколько раз, примерно в 2 раза больше, а значит, скорость износа во столько же раз меньше, чем в традиционной дробилке той же производительности. Это позволяет увеличить срок службы дробильных плит, что в свою очередь приводит к снижению затрат, связанных с их заменой и простоями оборудования и, в конечном итоге, к снижению себестоимости готовой продукции [3].

При одинаковой кривизне рабочих поверхностей размеры поперечного сечения валков примерно в два раза меньше, чем у обычных валковых дробилок [1]. Помимо траектории движения и размеров звеньев рабочего оборудования, определяющих конфигурацию и размеры зоны его действия, кинематика рабочих органов определяется также скоростями и ускорениями отдельных его звеньев (ротор и эксцентрики ого вала). Очевидно, что если нет ограничений на скорость рабочих органов, определяемых их специфическим взаимодействием с окружающей средой, то увеличение скорости с точки зрения повышения производительно-



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

Рисунок 1 – Схема конструкции дробилки

сти машины весьма существенно.

Кинематическая схема привода РО реализована с помощью планетарного механизма Джеймса, который содержит центральную шестерню внутреннего зацепления, водило и сателлит (планетарку) внешнего зацепления, катящиеся внутри коронной шестерни. Водило получает вращение от приводного двигателя.

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

Научные результаты. Рассмотрим геометрические характеристики рабочего органа (валка) с точки зрения конструкторской документации на опытно-промышленный образец, разработанный в КазАДИ на основе патента № 29666 РК [4].

Эксцентриситет е эксцентриков (длину водила) принимаем равным $e = 30$ мм. Тогда диаметр сателлита планетарного редуктора и коронного колеса:

$$d_c = 8 \cdot e = 8 \cdot 30 = 240.$$

Диаметр коронного колеса:

$$D_k = 10 \cdot e = 10 \cdot 30 = 300. \qquad (1)$$

Отношение

$$\frac{D_k}{d_c} = \frac{300}{240} = \frac{5}{4}. \qquad (2)$$

Диаметр цилиндрического гладкого валка, эквивалентного по захватывающей

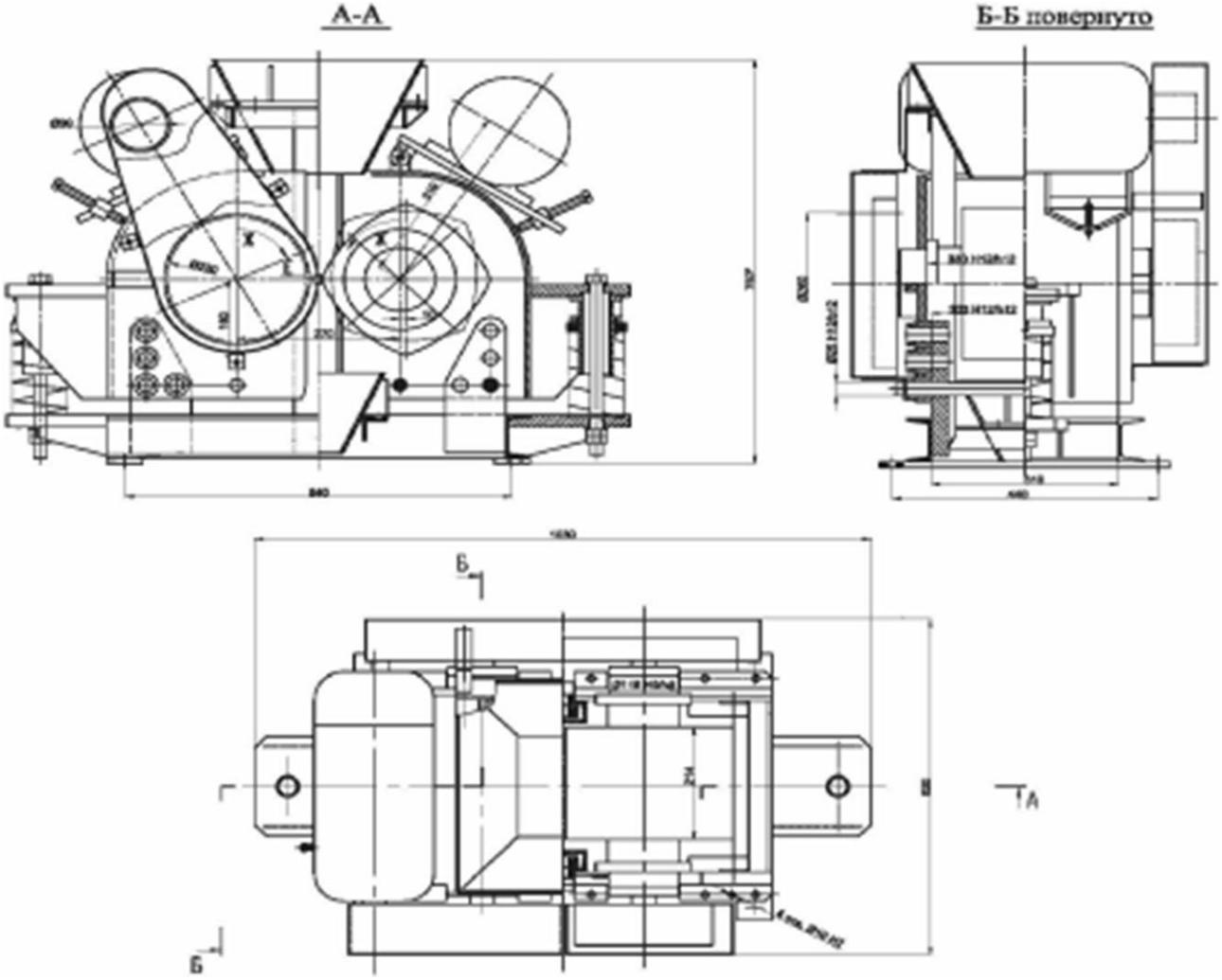


Рисунок 2 – Общий вид дробилки

Техническая характеристика экспериментальной дробилки:
1. Рабочие органы – два валка квадратной формы в поперечном сечении: – ширина, мм 280 – высота, мм 280 – длина, мм 585.
2. Максимальная крупность исходного материала, мм 45.
3. Предел прочности исходного материала при сжатии, МПа не более 160.
4. Пределы регулирования выходной щели, мм 6^20.
5. Частота вращения валков, об/мин 135.
6. Производительность, м^3/ч (т/ч) не менее 6,5 (10).
7. Привод: два электродвигателя АДМ90L4У3 – установленная мощность электродвигателя, кВт 2х2,2 – частота вращения, об/мин 1400. Клиноременная передача: – передаточное отношение 2,6. Планетарный механизм: – передаточное отношение от вала к сателлиту 4.
8. Габаритные размеры, мм – длина 1030 – ширина 620 – высота 750.
9. Масса, кг 390.

способности четырехгранному валку с выпуклыми гладкими гранями (разрабатываемому) в мм,
где d – размер, характеризующий максимальную крупность исходных кусков дробимого материала, мм ($d = 100$ мм).

$$D_2 = 20 \cdot d = 20 \cdot 100 = 2000,$$

и диаметр цилиндрического рифленого валка при указанных выше условиях

$$D_2 = 10 \cdot d = 10 \cdot 100 = 1000. \qquad (3)$$

Радиус кривизны стороны поперечного сечения гладкого валка (2)

$$R_2 = \frac{D_2}{2} = \frac{2000}{2} = 1000. \qquad (4)$$

Радиус кривизны поперечного сечения квадратного рифленого валка (рисунок 3)

$$R = \frac{D}{2} = \frac{1000}{2} = 500. \qquad (5)$$

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

$$D = 2 \cdot R = 2 \cdot 660 = 1320. \qquad (6)$$

Ширина и высота поперечного сечения квадратного валка

$$B = R - 2e = 660 - 2 \cdot 30 = 600. \qquad (7)$$

Диагональ поперечного сечения валка

$$C = D + 4e = 600 + 4 \cdot 30 = 720. \qquad (8)$$

Длина дуги стороны поперечного сечения валка

$$l_D = \beta \cdot R, \qquad (9)$$

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

$$l_D = f \cdot R = 3,14 \cdot \frac{660}{4} = 518,1 \text{ мм.}$$

Длину валка принимаем $L = 500$ мм.

Согласно расчетам по определению основных геометрических размеров валка разработан совершенствованный рабочий орган дробилки (рисунок 4).

Боковая (рабочая) поверхность циклоидального валка образована рабочими поверхностями отдельных плит 8 (рисунок 4). Число плит равно $z = 4$. Плиты 8 жестко закреплены на ступицах сателлитов 7. Контур поперечного сечения валка совпадает с контуром внутренней огибающей семейства эпитрохоид, образованного точками гипотрохоиды, 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, разработана совершенствованная инновационная конструкция валка с циклоидальной формой.

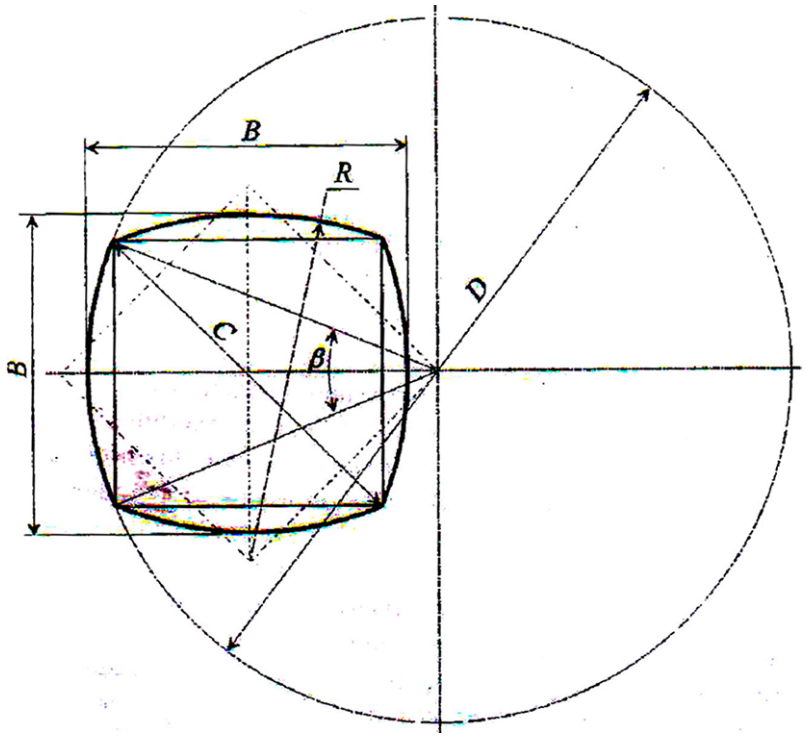
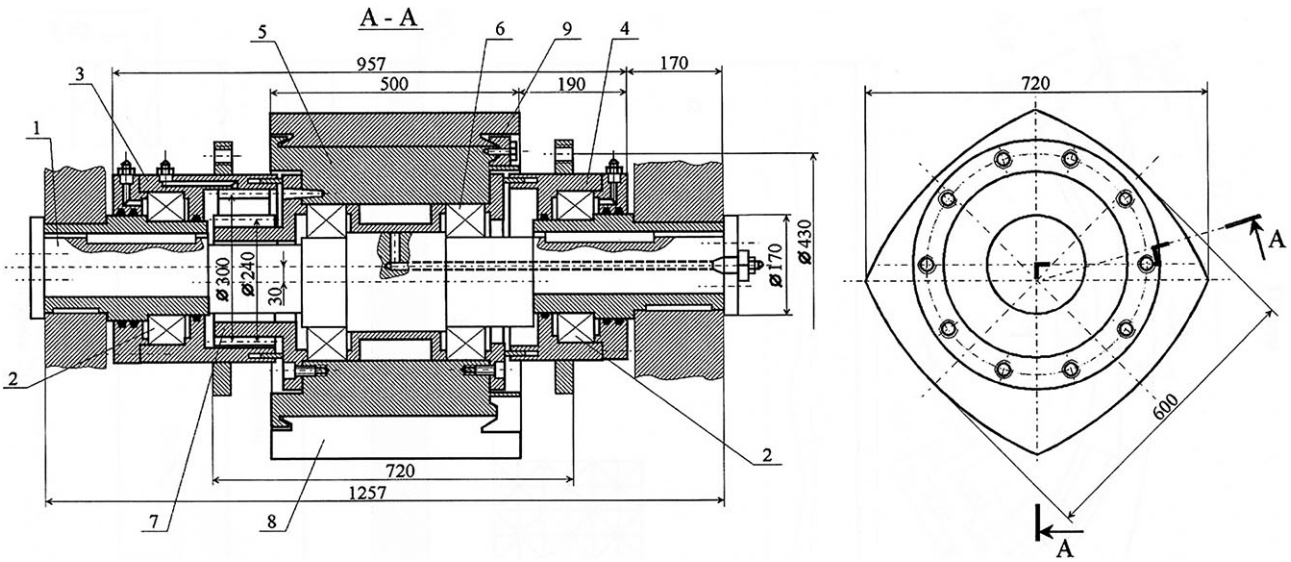


Рисунок 3 – К определению основных геометрических размеров валка



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

Рисунок 4 – Рабочий орган валка

Выводы:

1. Рабочая поверхность валка практически полностью активна, т.е. взаимодействует с измельчаемым материалом. Принято $z = 4$, следовательно, скорость изнашивания в четыре раза меньше, чем в щеке при той же производительности. Это позволяет увеличить срок службы дробильных плит, что в свою очередь приводит к снижению затрат, связанных с их заменой и простоями 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. Вращающие движения валков вокруг двух параллельных осей, динамические нагрузки, обусловленные инерционными силами и напряжения в элементах конструкции предлагаемой дробилки, что позволяет снизить металлоемкость, повысить надежность работы.

4. Одинаковая кривизна рабочих поверхностей 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. Пожидаев Ю.А. Надёжность валковых дробилок и их модернизация: Научная монография / Ю.А. Пожидаев, В.Я. Потапов, А.И. Афанасьев, В.И. Кадошников. – М., 2016. – 133 с.
3. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Кабашев Р.А., Ли С.В., Рабат О.Ж., Кабашев А.Р. Патент № 29666 РК «Валковая дробилка». Опубл. в БИ № 3, 2015. – 5 с.
5. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы / В.Я. Борщев. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2014. – 75 с.
6. Кабашев А.Р. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров бульдозера-террасера с выдвижным отвалом: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / КазАТК. – Алматы, 2009. – 126 с.

Білікті тартқыштың жаңа құрастырылымын пайдалану арқылы ұсату үдірісінің тиімділігін арттыру

[1]***МУРЗАХМЕТОВА Ұлбала Асқарбекқызы,** *т.ғ.к., декан, u_murzakhmetova@mail.ru,*
[1]**ҚАБАШЕВ Асхат Рахимжанович,** *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, mirey7@yandex.ru,*
[1]**ҚАБАШЕВА Мирей Рахимжановна,** *т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, askatkabashev@gmail.com,*
[1]*Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Райымбек даңғылы, 415в, Алматы, Қазақстан,*

**автор-корреспондент.*

Аңдатпа. *Ұсақтау және ұнтақтау үдірісінің тиімділігін арттыру, роликті ұсақтағыштардың технологиялық және техникалық-экономикалық сипаттамаларын арттыру мақсатында ұсақтау машиналарының негізгі жұмысшы органдарын, инновациялық материалдар мен беттерді қатайту әдістерін жаңартуды негіздеу бойынша көптеген ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Мақалада циклоидты қозғалыстары бар жаңа роликті ұсақтағыштың жұмыс сипаттамаларының негіздемесі келтірілген және оның конструкциялық геометриялық параметрлері анықталған. Орамдардың күрделі циклоидты қозғалысы ұсақтау процесінің мүмкін болатын ең аз энергия сыйымдылығын қамтамасыз етеді. Ұсатқыштың жұмыс органы өзара иілу циклоидты қисықтардың және тұрақты ені денелерінің қасиеттерін пайдаланады, бұл машинаның салмағы мен өлшемдерін айтарлықтай азайтуға мүмкіндік берді. Циклоидты орамдардың планетарлық-роторлы қозғалысы және олардың конструкциялық ерекшеліктері орамдар арасындағы ең аз саңылауларды азайтуға мүмкіндік береді, ал түсіру саңылауының ені тұрақты болып қалады. Бұл дайын ұнтақтау өнімінің максималды өлшемін және шығымдылығын текше қиыршық тас тәрізді етіп қамтамасыз етеді.*

Кілт сөздер: *қиыршық тасты ұсақтау, жобалық геометриялық параметрлері, орамдардың планетарлық-айналмалы қозғалысы, күрделі циклоидты қозғалыс, ротор, түсіру ойығы, өнімділік.*

Increasing the Operating Efficiency of a Roll Crusher with Cycloidal Movement of Working Bodies

[1]***MURZAKHMETOVA Ulbala,** *Cand. of Tech. Sci., Dean, u_murzakhmetova@mail.ru,*
[1]**KABASHEV Askhat,** *Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, mirey7@yandex.ru,*
[1]**KABASHEVA Mirey,** *Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, askakabasheb@gmail.com,*
[1]*Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Raiymbek Avenue, 415v, Almaty, Kazakhstan,*

**corresponding author.*

Abstract. *In order to increase the efficiency of crushing and grinding processes, technological and technical-economic characteristics of roller crushers, numerous scientific research works are carried out to substantiate the modernization of the main workers organs of crushing machines, innovative materials and methods of hardening the surfaces of the main working organs are used. The article provides a rationale for the operational characteristics of a new roller crusher with cycloidal movements and determines its design geometric parameters. The complex cycloidal movement of the rolls ensures the lowest possible energy intensity of the crushing process. The working body of the crusher uses the properties of mutually bending cycloidal curves and bodies of constant width, which made it possible to significantly reduce the weight and dimensions of the machine. The planetary-rotor motion of cycloidal-shaped rolls and their design features make it possible to reduce the minimum gap between the rolls, and the width of the unloading gap remains constant, which ensures the maximum size of the finished crushing product and the yield of cube-shaped crushed stone.*

Keywords: *crushing of crushed stone, design geometric parameters, planetary-rotary movement of rolls, complex cycloidal movement, rotor, discharge slot, productivity.*

REFERENCES

1. Nedorezov I.A., Kabashev R.A. Mashiny stroitelnogo proizvodstva i ih rabochie sredy vzaimodeistvia. Moscow – Almaty, Bastau, 2013. – 444 p.
2. Pozhidaev Yu.A. Nadezhnost valkovyh drobilok I ih modernizatsia: Nauchnaia monografia. – Moscow, 2016. – 133 p.
3. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Drobilki. Konstruktsia, raschet, osobennosti ekspluatatsii. – Moscow: Mashinostroenie, 1990. – 320 p.
4. Kabashev R.A. Lee S.V., Rabat O.Zh., Kabashev A.R. Patent No. 29666 RK «Volkovaia drobilka». Opubl. v Bi No. 3, 2015. – 5 p.
5. Borschev V.I. Oborudovanie dli izmelchnia materialov: drobilka I melnitsa. – Tambov: Publ. TGTU, 2014. – 75 p.
6. Kabashev A.R. Theoretical and experimental substantiation of the parameters of a bulldozer-terraser with a retractable blade: Dis. ... of Cand. of Tech. Sc.: 05.05.04 / KazATK. – Almaty, 2009. – 126 p.