



УДК 622.73

**П.Я. Бибиков, А.И. Вислогузов, С.С. Елашко**  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Московский научно-исследовательский  
проектно-изыскательский институт  
технологий и инноваций»  
(ООО «МНИПИИТИ»)  
г. Москва, Россия  
E-mail: info@mniipiti.ru  
Дата поступления 25.11.2021

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ

### Аннотация

В работе приведен расчет основных конструктивных параметров валковой вертикальной дробилки. К ним относятся: расстояние между валками, размер валков, частота вращения валков. Конструкция дробилки выполнена на основе патента RU 187 418 U1. Конструкция позволяет осуществлять дробление горной массы инновационным способом с увеличенной степенью дробления, уменьшенным переизмельчением, пониженным расходом электроэнергии на единицу готовой продукции за счет выделения мелких фракций и избирательного дробления сначала между вращающимися валками, а затем между каждым из валков и внутренней поверхностью неподвижного корпуса, качества фракционного состава готового продукта (фракционный состав готового продукта является стабильным при высокой степени дробления) т.е. за счет использования достоинств способов дробления в конусных и валковых дробилках.

**Ключевые слова:** разрушение горных пород, валковая дробилка, фракционный состав, степень дробления.

### Введение

Вертикальная многостадийная валковая дробилка относится к оборудованию для дробления различных материалов и может быть использована в горноперерабатывающей, металлургической, строительной и других отраслях промышленности, связанных с дроблением материалов.

На рис.1 приведена схема вертикальной многостадийной валковой дробилки. Дробилка работает следующим образом. Куски дробимой горной массы через загрузочное устройство 1 попадают в зону А (рис1,б), в приемное пространство между вертикально расположенными валками 2 и 3, рабочие поверхности которых выполнены в форме одинаковых усеченных конусов с диаметрами, уменьшающимися к загрузочному устройству 1, и внутренней поверхности неподвижного корпуса 4, который в поперечном сечении имеет форму растянутого по ширине круга, огибающего

с зазором валки 2 и 3 и удерживаются пластиной 5, заостренный конец которой направлен в сторону межвалкового пространства и боковые поверхности пластин образуют зазор между валками минимальный размер щели между валками 2 и 3 равен минимальному зазору между каждым из них и внутренней цилиндрической поверхностью корпуса 4 и зазору между боковыми сторонами поддерживающих пластин 5 и 6 с валками 2 и 3.

### Основная часть

В зоне А вертикальной валковой дробилки происходит активное перемешивание кусков горной массы путем воздействия на нее вращающихся навстречу друг другу валков 2 и 3, следовательно, горная масса распределяется по высоте валков: более крупные-в верхней части, менее крупные-в нижней части, т.е. происходит сегрегация дробимых кусков. При этом мелкие куски, не доходя до щели между валками 2

и 3, ссыпаются вниз через разгрузочное устройство 7.

Далее под действием силы тяжести вышележащих слоев дробимой горной массы, а также сил трения между валками и кусками, последние затягиваются между валками 2 и 3, дробятся между ними и переходят в зону Б (рисунок 1,б), находящуюся за валками 2 и 3 и внутренней поверхностью неподвижного корпуса 4. Вновь образованные мелкие куски ссыпаются вниз через разгрузочное устройство 7, а полученные после дробления ждк валками 2 и 3 крупные куски опускаются вниз по суживающемуся пространству, имеющую конусообразную форму, и удерживаются пластиной 6, у которой также заостренный конец

направлен в сторону межвалкового пространства и боковые поверхности пластины образуют зазор между валками. Эти куски затягиваются в зазор между каждым из валков 2 и 3 и внутренней поверхностью неподвижного корпуса 4, при этом дробление осуществляется на наибольших диаметрах валков 2 и 3.

Таким образом, дробимая горная масса, переходя из одной зоны в другую, дробится последовательно опускаясь вниз в сторону разгрузочного устройства до получения размера конечного продукта и выводится через разгрузочное устройство 7 в нижней части дробилки.

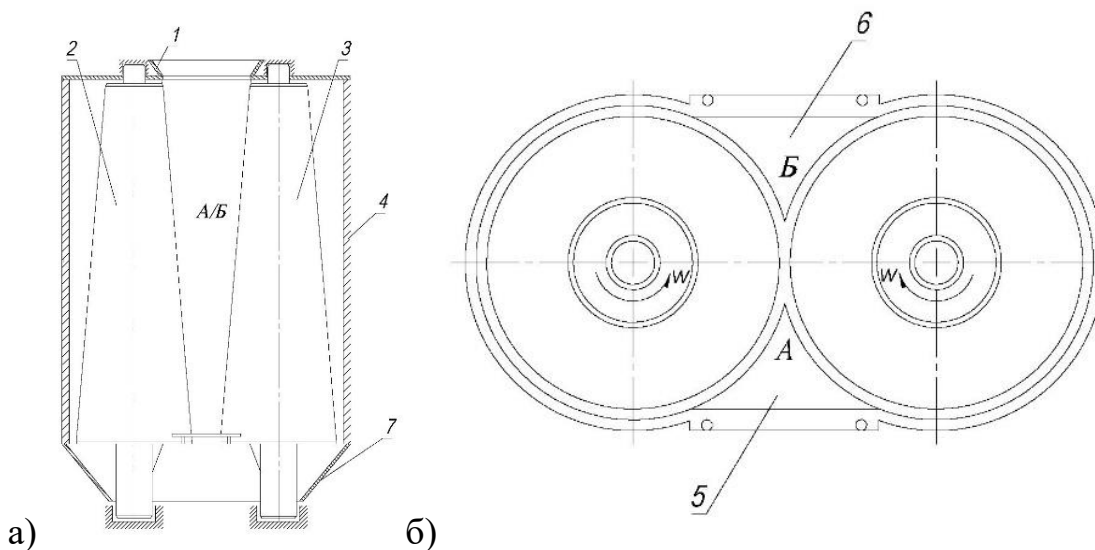


Рисунок 1. Схема вертикальной многостадийной валковой дробилки

### Технологический расчет

В технологическом расчете гладко-валковой дробилки принимают известными те же величины, что в щековых дробилках. При расчете определяют следующие параметры: угол захвата  $\alpha$ , размеры валков для дробилки заданной производительности, частоту вращения валков и потребляемую ими мощность  $N$ .

Угол захвата дробилки. При рассмотрении сил, действующих на кусок во время его сжатия валками, следует, что угол захвата (рис. 2) должен быть меньше двух углов трения, т. е.  $\alpha \leq 2\varphi$ . В противном случае куски материала будут растягиваться в пасть дробилки и, следовательно, не будут измельчаться.

Размеры валков. Из рисунка 3 видно, что  $D_B/2 + e/2 = (D_B/2 + d_H/2)$

откуда диаметр валков:

$$D_B = \frac{d_H \cos \alpha/2 - e}{1 - \cos \alpha/2} \quad (1)$$

Для многих материалов коэффициент трения  $f=0,3$  и, следовательно, угол трения  $\varphi=17^\circ$ . Приняв  $e = d_H/4$ , можно найти ориентировочное соотношение между диаметром валка и начальными размерами кусков исходного сырья. Поскольку  $\alpha \leq 2\varphi$ , то можно принять  $\alpha=30^\circ$ , т. е.  $\cos 15^\circ = 0,967$ ; следовательно:

$$D_B \frac{0,967 d_H - 0,25 d_h}{1 - 0,976} \approx 21 d \quad (2)$$

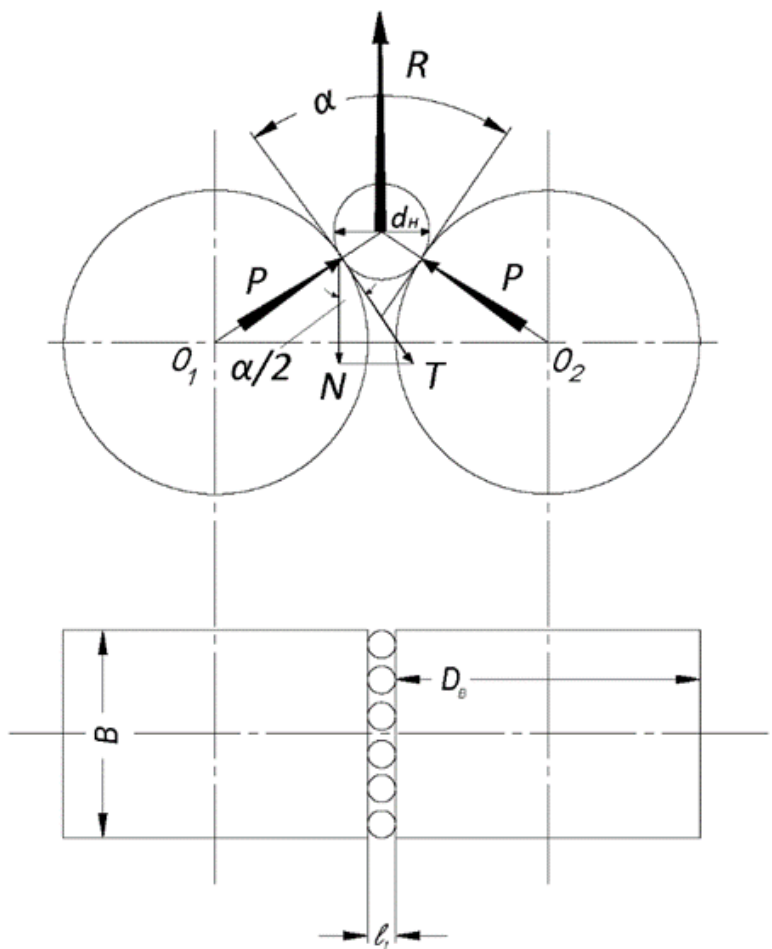


Рисунок 2. Схема к определению угла захвата гладковалковой дробилки

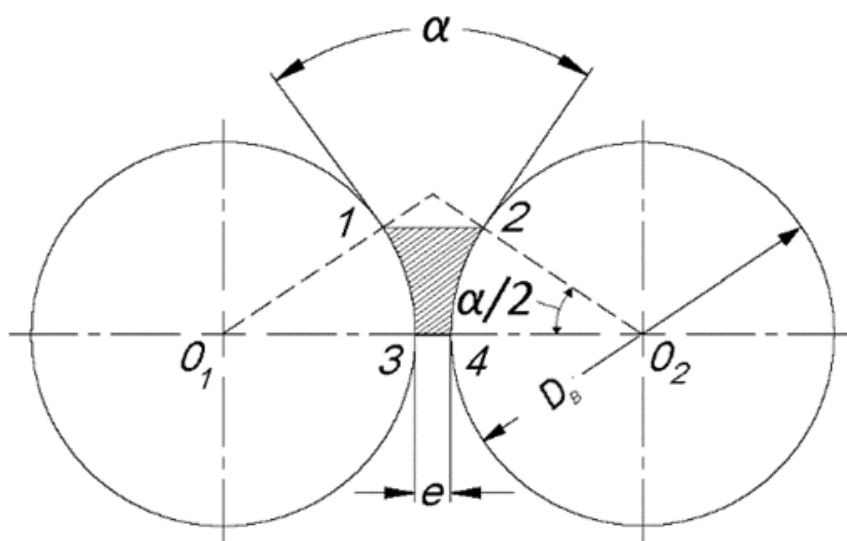


Рисунок 3. Схема к определению размеров гладковалковых дробилок

Отсюда следует, что для измельчения материалов с коэффициентом трения  $f=0,3$  при степени измельчения  $i=4$  диаметр валков должен быть примерно в 20 раз больше размера наиболее крупных кусков

в исходном сырье. Это отношение может быть другим при другой степени измельчения и другом коэффициенте трения измельчаемого материала о металл.

Расстояние между валками  $e$  обычно регулируют в соответствии с заданной конечной крупностью измельчаемого материала  $d_K$ .

При этом следует иметь ввиду, что один из валков устанавливается на свободно скользящих на станине подшипниках, которые отжимаются пружинами в сторону другого валка. При поступлении в пасть дробилки материала пружины сжимаются, валки расходятся и, следовательно, значение  $e$  увеличивается.

Если принять расстояние между холостыми валками  $e = d_K$ , то в продуктах измельчения будет повышенное содержание более крупной фракции, чем заданное  $d_K$ , вследствие увеличения значения  $e$  при нагруженной дробилке.

Чтобы уменьшить в измельченном материале содержание фракции более крупного размера, чем  $d_K$  значение  $e$ , устанавливаемое опытным путем при пуске и наладке валковой дробилки, должно быть несколько меньше  $d_K$ .

Ширину валковой дробилки определяют так же, как и в случае зубковой дробилки, в зависимости от производительности дробилки по формуле:  $\omega = \pi D_B n / 60 = 1,5 - 2$ , при этом коэффициент разрыхления имеет следующие значения:

$e$	$\mu$
Больше 25	0,1
6,5-25	0,15-0,2
Меньше 6,5	0,2-0,3

Частота вращения валков. Из формулы  $\omega = \pi D_B n / 60 = 1,5 - 2$  видно, что при увеличении частоты вращения валков возрастает производительность дробилки. Однако частоту вращения можно увеличить до определенного предела, превышение которого ведет к усиленному износу валков, повышенному расходу энергии, сильной вибрации машины и возможной поломке ее деталей.

Зависимость частоты вращения валков от различных факторов показана ниже.

Измельчаемый материал движется к выходной щели под действием сил трения, возникающих между материалом и

поверхностью валков. В начале зоны измельчения (см. положение 1-2 на рисунке 3) скорость движения материала очень мала и ее можно принять равную нулю. Затем эта скорость увеличивается и в некоторый момент достигает окружной скорости валка, причем частицы выходят с этой скоростью из зоны измельчения.

Скорость движения материала можно представить в виде произведения ускорения  $\alpha$  на время  $\tau$

$$\omega_M = \alpha \tau \text{ (а)}$$

Но ускорение  $\alpha$  вызывается действием силы трения, и его можно определить по формуле:

$$\alpha = T/m \text{ (б)}$$

где  $T = Pf$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $m = v\rho/g$  – масса материала;  $v$  – объем материала, находящегося между валками.

Время, в течении которого под действием сил трения скорость движения материала становится равной окружной скорости валка, равно:

$$\tau = (60/n) \cdot (\beta/360) \text{ (в)}$$

где  $\beta$  – угол поворота валка, соответствующий времени  $\tau$ .

Силу  $P$  можно приблизительно найти из выражения :

$$F \Delta l / 2 = \sigma_p^2 v / 2E \text{ (г)}$$

где  $\Delta l$  – путь, на котором действует сила  $F$ . Этот путь можно принять равным разности между начальным и конечным размерами кусков измельченного материала:

$$\Delta l = d_H - d_K \text{ (д)}$$

Тогда:

$$F = \sigma_p^2 v / [E(d_H - d_K)]$$

Из выражений (а) и (б) получим:

$$\pi D_B n / 60 = \alpha \tau \text{ (е)}$$

Подставляя в выражение (е) значения  $\alpha$  и  $\tau$ , найдем:

$$\pi D_B n / 60 = \sigma_p^2 v / [E(d_H - d_K)(fg/v\rho)] (60/n) (\beta/360)$$

Или

$$n^2 = 10g\sigma_p^2 f\beta / [\pi E D_B (d_H - d_K)\rho]$$

При ускорении силы тяжести  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$

$$n = \sqrt{\sigma_p^2 f\beta / [E\rho D_B (d_H - d_K)]} \text{ (3)}$$

где  $\rho$  – в  $\text{Н/м}^3$ ;  $D_B$ ,  $d_H$  и  $d_K$  – в м. Все величины, входящие в первую часть формулы, известны, кроме угла  $\beta$ . Этот

угол меняется от 0 до  $\alpha/2$ . С увеличением  $\beta$  частота вращения валка растет. Максимальной производительности соответствует рабочая частота вращения  $\beta=d/2$ . При этом валок на всей дуге, соответствующей углу  $\alpha/2$ , будет скользить по материалу. Это, естественно, приведет к завышенным потерям энергии на трение и к износу валков; при  $\beta=0$  валок не вращается и дробление не происходит. Из этого следует, что в гладковалковой дробилке принципиально невозможно исключить потери энергии и износ валков, поскольку материал за счет трения должен приобрести скорость, равную окружной скорости валка. Исключением является случай, когда материал подается в дробилку со скоростью вращения валков.

Оптимальное значение угла  $\beta$  пока не удается найти аналитически, так как оно зависит от многих, трудно учитываемых факторов. На основании опытных данных значение этого угла можно принять равным  $1/30\alpha$ .

В этом случае формула (4) примет вид:

$$n = \sqrt{\sigma_p^2 f \alpha / [E \rho D_B (d_H - d_K)]} \quad (4)$$

где  $n$  – в об/мин. По этой формуле частота вращения соответствует наиболее приемлемым показателям работы дробилки по производительности, энергетическим затратам и износу.

Выше было сказано, что дробилка работает с максимальной производительностью, если  $n$  соответствует углу  $\beta=\alpha/2$ .

$$n_{max} = 3,94 \sqrt{\sigma_p^2 f \alpha / [E \rho D_B (d_H - d_K)]} \quad (5)$$

Дальнейшее увеличение частоты вращения уже не сказывается на производительность и только приводит к повышению расхода энергии и усилению износа дробилки. Поэтому не рекомендуется превышать  $n_{max}$ . Максимальную частоту вращения валков можно определить по формуле:

$$n_{max} = 308 \sqrt{f / \rho r R_B} \quad (6)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $\rho$  – плотность, кг/см<sup>3</sup>;  $r$  – радиус (условный) наибольших кусков сырья, см;  $R_B$  – радиус валка, см;

Расчеты по этой формуле близки к расчетам по формуле (5).

Большинство зарубежных заводов, а так же заводы РФ выпускают дробилки этого типа (только для перетирания влажных глин), окружная скорость валков в них 2 – 4 м/с. Допустимы окружные скорости и порядка 8 – 10, м/с, но в этом случае валковая дробилка работает как глиномялка.

Потребляемая мощность. В валковых дробилках энергия расходуется на дробление материала, преодоление сил трения, за счет которых скорость продвижения материала к выходу достигает окружной скорости валков, и на преодоление сил трения в подшипниках. При расчете определяют затрачиваемую энергию по каждому виду из указанных затрат и полученные результаты суммируют. Этот расчет необходим только в том случае, если процесс измельчения ведут при высоких скоростях валков, заведомо предполагая большой удельный расход энергии и повышенный износ металла. Если процесс измельчения идет при окружных скоростях 2 – 4 м/с, потребляемую мощность рассчитывают по формуле:

$$P_{max} = 1,39 \cdot 10^{-6} (\sigma_{сж} \cdot G) / (\mu \cdot E_r) \log i$$

где  $i$  – линейная степень дробления:

$\sigma_{сж}$  – предел прочности при одноосном сжатии дробимой горной породы, Н/м<sup>2</sup>

$E$  – модуль упругости дробимой горной породы, Н/м<sup>2</sup>

$$i = d_H / d_K$$

Общий механический коэффициент полезного действия гладковалковых дробилок составляет 0,32 – 0,38.

Опыт эксплуатации показывает, что работа гладковалковых дробилок существенно зависит от условий подачи измельчаемого материала. Если питание не равномерно по времени и сырье подают порциями, то пасть дробилки может целиком заполняться сырьем, либо оставаться свободной. Когда пасть дробилки завалена материалом, валки, забирая большие порции сырья, расходятся шире, чем предусмотрено, выходная щель увеличивается, в продуктах дробления увеличивается содержание крупной фракции.

Неравномерность питания по ширине валков приводит к таким же результатам, что и неравномерность во времени. Кроме того, нагрузка одной стороны валка ведет к перекосам и одностороннему износу.

Лучшим вариантом питания валковой дробилки является равномерная во времени и по ширине валков подача материала в пасть дробилки со скоростью, приближающейся к окружной скорости валков.

### Заключение

1. Применяющиеся в настоящее время щековые, клнусные, валковые и другие виды дробилок, не смотря на широкое распространение в промышленности, не в полной мере удовлетворяют требованиям современных технологий дробления, что требует разработки более совершенного способа дробления
2. Заявляемый инновационный способ дробления и конструкция вертикальной валковой дробилки для дробления горной массы представляет собой комбинацию известных способов: раздавливание кусков между валками, реализуемый в в горизонтальной валковой дробилке, и раздавливание с истиранием между валком и корпусом, реализуемый в конусной дробилке. Использование предлагаемого способа и конструкции дробилки позволят значительно увеличить степень дробления, улучшить качество фракционного состава готового продукта (фракционный состав готового продукта является стабильным при высокой степени дробления), уменьшить переизмельчение и снизить расходы энергии на единицу готовой продукции.
3. Разработка и создание инновационной конструкции энергосберегающего агрегата для комплексного дробления и классификации горной массы, сочетающее преимущества рассмотренных выше дробилок и устраняющее их конструктивные недостатки, позволило бы значительно

продвинуться в решении обозначенной проблемы.

### Библиографический список

1. Андреева Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению – СПб.: СПбГИ, 2007. – 439 с.
2. Naumova M. G., Basyrov I. I., Aliev Kh. V. Reengineereng of the ore preparation production process in the context of «Almalyk MMC» JSC // MATEC Web Conference, 2018, Vol. 224, article number 01030.
3. Bardovskiy A. D., Gorbatuk S. M., Keropyan A. M., Bibikov P. Ya. Assessing parameters of the accelerator disk of a crntrifugal mill taking into account fetures of particle moton on the disk surface // Journal of Friction and Wear, 2018, Vol. 39, no 4, pp. 326 – 329.
4. Сивченко Л. А., Добровольский Ю. К. История развития и современный уровень техники измельчения // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – №4(37). – с. 69 – 76.
5. Bardovsky A. D., Gerasimova A. A., Basyrov I. I. Study of oscillating process of harp screens // Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2019, Vol. 0, no 9783319956299, pp. 133 – 139.
6. Дворников Л. Т., Макаров А. В. К проблеме совершенствования шелковых дробильных машин // Машиностроение. – 2011. - №21. – с. 115 – 131.
7. Dats N. A. Selecting of the crusher type that can provide the charge with a narrow range of granule size composition // Metallurgical and Mining Industry, 2015, Vol. 7, no 5, pp 398 – 400.
8. Павленко О. И., Левченко Э. П., Чебан В. Г. Анализ возможности использования существующих технических средств для получения стальной колотой дробы // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2016. - №(4). – с. 38 – 44.
9. Бибииков П. Я., Бардовский А. В., Митусов П. Е., Калакуцкий А.В.

- Разработка конструкций измельчителя-классификатора для переработки слабых горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. - №8. – с. 166 – 170.
10. Фурсов Е. Г. Дробление горных пород воздействием скалывающих нагрузок // Горное оборудование электромеханика. – 2009. №7. – с. 32 – 33.
  11. Супрун В. И., Пастихин Д. В., Радченко С. А., Перельгин В. В. Проблемы и перспективы циклично-поточной технологии для обработки крупных угольных и рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. - №S1. – с. 332 – 346.
  12. Altun D., Gerold C., Benzer H., Altun O., Aydogan N. Copper in mobile vertical roller mill pilot plant // International Journal of Mineral Processing, 2015, Vol. 136, pp. 32 – 36.
  13. Бауман В. А., Клушанцев Б. В., Мартынов В. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
  14. Yilmaz E. Field minitoring and performace evaluating plant operation // Physsicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, Vol. 50, no 2, pp. 615 – 630.
  15. Argimbaev K. R., Maya B. O. The experience of the introduction of mobile crushing and screening complexes on a deposit of building materials // Research Journal of Applied Sciences, 2016, Vol. 11, no 6, pp. 300 – 303/
  16. Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муйземнек Ю. А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
  17. Бардовский А. Д., Рахутин М. Г., Бибииков П. Я., Басыров И. И. Способ дробления материалов и устройство для его осуществления. Патент РФ 2654788 С1 30.06.2017. 2018, бюл. №15.
  18. Бардовский А. Д., Рахутин М. Г., Бибииков П. Я., Басыров И. И., Герасимова А. А. Вертикальная многостадийная валковая дробилка. Патент РФ 187418 U1, 23.11.2018. 2019, бюл. №7.

---

*Information about the paper in English*

**P.Ya. Bibikov, A.I. Visloguzov, S.S. Elashko**  
 Limited Liability Company Moscow Research,  
 Design and Survey  
 Institute of Technologies and Innovations  
 Moscow, Russia  
 E-mail: info@mnipti.ru  
 Received 25.11.2021

DETERMINING MAIN PARAMETERS OF A VERTICAL ROLL CRUSHER DESIGN

**Abstract**

The paper contains the calculation of main design parameters of a vertical roll crusher. They include the roll gap, roll size and rate of rotation. The crusher is manufactured according to patent RU 187 418 U1. The design is applied to crush rock in an innovative method with a higher crushing rate, lower regrinding, reduced consumption of electricity per unit of finished products due to separation of fine fractions and selective crushing between rotating rolls and then between each roll and an internal surface of a fixed frame, the quality of a fractional composition of finished products (the fractional composition of finished products is steady at a high crushing rate), namely by getting advantages of crushing in cone and roll crushers.

**Keywords:** rock crushing, roll crusher, fractional composition, crushing rate.

---