



УДК 621.8.028

**Мудров А.Г.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [Alexmudrov42@rambler.ru](mailto:Alexmudrov42@rambler.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Молотковая мельница**

#### **Аннотация**

Предложена молотковая мельница, в которой кроме вращательного движения ротора с молотками дополнительно вращается перфорированный барабан, причем скорость вращения барабана и ротора различны и имеют встречное вращение, чем достигается повышенная скорость удара молотков. Посредством двух кривошипов, шатуна и зубчатой передачи с внутренним зацеплением барабан и ротор с молотками имеют еще и возвратно-качательное движение. Такая комбинация движений ротора и барабана существенно интенсифицирует процесс измельчения кусков материала, сепарацию и вывод в приемный бункер, так как дополнительно на частицы действуют инерционные силовые воздействия. От одного источника привода вращательное движение получают перфорированный барабан, ротор с молотками и возвратно-качательное движение камеры с барабаном и ротором.

**Ключевые слова:** молотковая мельница, перфорированный барабан, ротор, молотки, кривошипы, шатун, измельчение.

#### **Введение**

Измельчение материалов широко используется во многих отраслях техники и технологий. Приведем краткий перечень материалов, подвергающихся измельчению: доломитовая мука, тальк, ракушечник, каолин, помол зерна, перца, дробление орехов и семян, пластика, хрупкого сырья, производственного брака, щебня, камня, мела, гипса, квасцов, селитры, буры и т.д.

Различают процессы дробления и измельчения, которые отличаются размером частиц готового продукта. Если крупность частиц превышает 5 мм, это дробление, если крупность менее 5 мм – это измельчение. Различаются и машины для этих процессов, соответственно, дробилки и мельницы.

Наиболее распространенные дробилки и мельницы одно и двухроторные с жестко или шарнирно закрепленными на них молотками.

Дробление и измельчение осуществляется при условии, когда действующее напряжение в материале от воздействия внешних сил будет больше допустимого напряжения для данного материала. При разрушении материала могут быть напряжения сжатия, растяжения, сдвига, изгиба, действующие на частицы, как в чистом виде, так и комбинированно.

Механическое воздействие может осуществляться раздавливанием, ударом, раскалыванием (срезом), истиранием.

В молотковых мельницах измельчение материала происходит преимущественно от удара молотков. Сила удара зависит от скорости вращения ротора и массы молотков.

По сравнению с другими (валковые и щековые) молотковые устройства имеют более высокие технико-экономические показатели: степень дробления до 20, в 4-5 раз меньше масса и в 1,5-2,5 стоимость устройства, а так же мощность электродвигателя на 60-70 %, проще конструкция [1, 2, 3].

Так как дробление и измельчение весьма энергоёмкие операции, поэтому желательно уменьшение массы перерабатываемого материала, для чего предварительно производят разделение по крупности просеиванием материала через сита. Измельчают отсортированные частицы материала с небольшим отклонением от их среднего размера. При этом уменьшается расход энергии, увеличивается производительность и повышается качество готового продукта [4, 5, 6].

Недостатки молотковых устройств: ротор с молотками имеют постоянную угловую скорость, и вращается только в горизонтальной плоскости, в результате чего не вся масса измельчаемого материала находится под воздействием молотков, чем снижается степень измельчения и производительность устройства. Кроме этого происходит быстрый износ молотков, бронеплит, колосниковой решётки, залипание и забивание отверстий колосниковой решётки, а также сложность монтажа и балансировки ротора.

Учитывая недостатки существующих роторных молотковых устройств, конструкторы и ученые ищут способы интенсификации измельчения и более совершенные устройства для этой цели.

Нами предложен способ применения дополнительного воздействия инерционных сил на интенсификацию измельчения и использование сложного пространственного движения ротора и барабана, предложено устройство для измельчения материала.

### Основная часть

Молотковая мельница (рис. 1) содержит станину – 1, камеру – 2, шарнирно установленной на станине, концентрично размещенных внутри камеры – 2 перфорированного барабана – 3 и молоткового ротора – 4, а также источника привода – 5 (мотор-редуктор или электродвигатель с редуктором) [7].

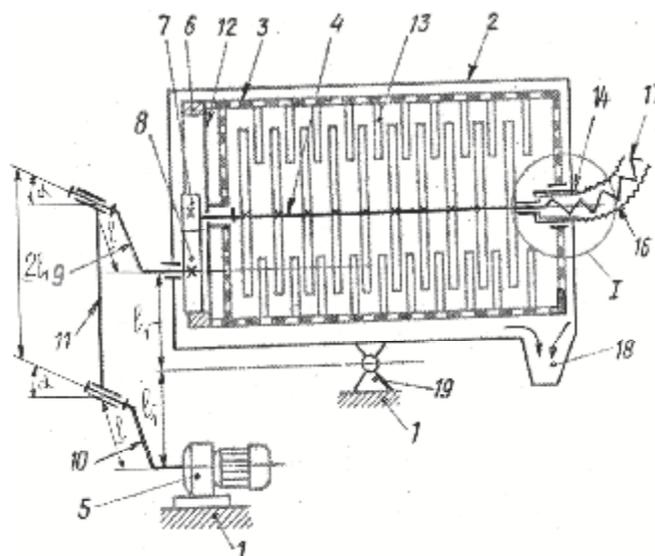


Рис. 1. Схема молотковой мельницы

Перфорированный барабан – 3, установлен в камере – 2, с возможностью вращения и кинематически соединен с ротором – 4 планетарной зубчатой передачей.

Зубчатый венец – 6 передачи укреплен на барабане – 3, центральная шестерня – 7 – на роторе – 4, а промежуточная шестерня – 8 (сателлит) соединена с источником привода – 5 посредством двух кривошипов – 9 и 10. Один из кривошипов – 9 – жестко связан с шестерней – 8, а другой – 10 – закреплен на валу источника привода – 5, кривошипы – 9 и – 10 шарнирно соединены с шатуном – 11.

Планетарная зубчатая передача отделена от внутренней полости камеры – 2 и барабана – 3 перегородкой – 12. На внутренней поверхности перфорированного барабана – 3 закреплены молотки – 13.

Перфорированный барабан – 3 имеет диаметры отверстий, которые должны соответствовать размеру измельчаемых частиц.

У противоположного планетарной зубчатой передаче торца камеры – 2 установлен по оси полый вал – 14 с окнами – 15 (рис. 2). С валом – 14 соединен гофрированный рукав – 16 гибкого шнека – 17, в свою очередь, соединенный с ротором – 4. Камера – 2 имеет разгрузочную воронку – 18. Со станиной – 1 камера – 2 соединена посредством вращательного шарнира – 19.

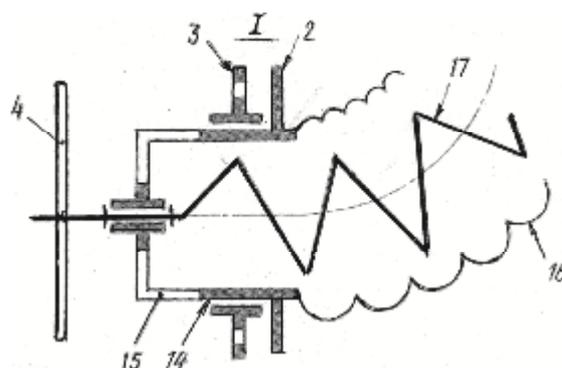


Рис. 2. Схема ввода материала в камеру

Молотковая мельница имеет ряд конструктивных особенностей, отличных от существующих конструкций мельниц. Во-первых, перфорированный барабан – 3 вместе с молотками – 13 имеет вращение относительно камеры – 2, а ротор – 4 с молотками имеет вращение, но в противоположном направлении. Во-вторых, частота вращения ротора – 4 во много раз больше частоты вращения барабана – 3, а поскольку они имеют встречное вращение, скорость удара молотков значительно увеличивается, что способствует интенсификации измельчения материала.

В-третьих, камера – 2 вместе с ротором – 4 и барабаном – 3 имеет возвратно-качательное движение с переменной скоростью относительно станины – 1 с углом качания, равным  $4\alpha$  ( $\alpha$  – угол скрещивания геометрических осей шарниров кривошипов).

В-четвертых, барабан – 3 и ротор – 4 с молотками имеют переменную угловую скорость в пределах одного оборота.

В-пятых, параметры передающей передачи состоящей из двух кривошипов – 9, 10 и шатуна – 11 имеют особое расположение геометрических осей их шарниров. Так, кривошипы – 9 и 10 имеют одинаковый угол скрещивания  $\alpha$  геометрических осей шарниров (скрещивающиеся оси не параллельны и не пересекаются между собой) и кратчайшее расстояние  $\ell$  между осями. Геометрические оси валов вращения кривошипов – 9 и 10 расположены на одинаковом расстоянии  $\ell_1$  от геометрической оси шарнира – 19 качания камеры – 2 и находятся под прямым углом. У шатуна – 11 геометрические оси шарниров параллельны и расположены на длине  $2\ell_1$ .

Параметры связаны соотношением:

$$\ell = \ell_1 \sin \alpha. \quad (1)$$

Все шарнирные соединения оформлены на стандартных подшипниках качения, которые имеют высокий КПД, порядка 0,99, что свидетельствует о меньших тратах энергии устройством.

Примеры использования других пространственных механизмов в строительных технологиях приведены в статье [8].

Подробные сведения о пространственных механизмах с вращательными шарнирами и их использовании в технике можно получить в монографиях [9, 10].

Молотковая мельница работает следующим образом.

От источника привода – 5 мельницы вращение передается через кривошипы – 9 и 10 и шатун – 11 на шестерню – 8, от нее приводится во вращение перфорированный барабан – 3 и молотковый ротор – 4, причем в противоположных направлениях. Камера – 2 при этом получает колебательное движение относительно станины – 1 на шарнире – 19, а барабан – 3 и ротор – 4 совершают сложное движение: вращательное и колебательное.

Исходный материал подается в перфорированный барабан – 3 по гофрированному рукаву – 16 гибким шнеком – 17 через полый вал – 14 с окнами – 15. В барабане – 3 материал интенсивно измельчается ударами молотков ротора – 4 по молоткам барабана – 3.

Кроме этого, частицы материала разрушаются от колебательного движения камеры – 2 при соударении о торцовые стенки молотков ротора – 4 и молотков барабана – 3. Поскольку барабан – 3 и ротор – 4 с молотками имеют переменную угловую скорость, то на частицы материала действуют дополнительные инерционные воздействия, которые содействуют измельчению материала.

Степень неравномерности вращения ротора и барабана определяется по формуле:

$$d = \pm 0,5 \left( \frac{\cos \alpha}{1 + \sin \alpha} - \frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha} - \frac{\cos \alpha}{2} \right). \quad (2)$$

Степень неравномерности зависит от значения угла скрещивания геометрических осей шарниров кривошипов и назначается при конструировании мельницы.

Так как барабан с ротором имеют сложное движение: вращательное с разными угловыми скоростями и возвратно-качательное с углом качания  $\beta=4\alpha$ , также переменное, частицы материала имеют сложное турбулентное движение, одновременно получают удары молотков и соударяются о торцовые стенки молотков и барабана под действием дополнительных инерционных воздействий, а также соударяются между собой. В результате многократного ударного воздействия частицы интенсивно разрушаются, активно просеиваются через перфорированный барабан и выводятся через разгрузочную воронку – 18.

Проектирование молотковой мельницы начинают с определения размера камеры – 2, ее диаметра и длины, под потребную производительность измельчения, ориентируясь на размеры существующих известных конструкций молотковых мельниц.

Например, однороторные устройства дробления по ГОСТ 7090-72 имеют размеры (DxL, диаметр, длина): 300x200, 400x300, 800x600, 1000x800, 1000x1200, 1300x1600 мм.

Производительность измельчения можно определить по формуле [5]:

$$Q = \frac{kD^2Ln^2}{3600(i-1)}, \quad (3)$$

где  $k$  – опытный коэффициент, зависящий от твердости измельчаемого материала ( $k=4,0-6,2$ );

$D$  – диаметр камеры, м;

$L$  – длина камеры, м;

$n$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$i$  – степень измельчения.

Мощность (кВт), потребляемая устройством приближенно определяется по формуле:

$$N = (0,10-0,15) Q \cdot i. \quad (4)$$

Принимается угол качания  $\beta$  камеры с барабаном и ротором в пределах от  $60^\circ$  до  $130^\circ$ . далее определяется угол скрещивания  $\alpha$  равный  $\alpha=\beta/4$ . Назначается расстояние  $2\ell_1$  между геометрическими осями валов вращения кривошипов (то же длина шатуна  $2\ell_1$ ) и определяется кратчайшее расстояние  $\ell$  между геометрическими осями шарниров кривошипов по формуле (1)  $\ell = \ell_1 \sin \alpha$ .

В зависимости от физико-механических свойств измельчаемых материалов назначается частота вращения ротора и барабана. Различие частот вращения обеспечивается изменением передаточного числа зубчатой передачи и частотой вращения вала источника привода.

Таким образом, предложенное устройство для измельчения материалов имеет существенное преимущество перед существующими молотковыми мельницами в том, что, при измельчении частиц материала, одновременно происходит разрушение ударами молотков, ударами частиц о торцовые стенки барабана и роторов, соударением частиц между собой, перетираем частиц по поверхностям барабана и роторов при сложном их движении и инерционном дополнительном воздействии от переменного движения барабана, роторов и частиц.

## Выводы

1. Предложена молотковая мельница с одновременно вращающимся перфорированным барабаном, ротором с молотками и качающейся камерой, приводимыми в движение от одного источника привода, посредством двух пространственных кривошипов, шатуна и зубчатой передачи с внутренним зацеплением.

2. Кривошипы и шатун имеют особое расположение геометрических осей шарниров, обеспечивающие сложное неравномерное движение роторов и барабана.

3. Кроме измельчения частиц материала ударами молотков ротора, дополнительно происходит инерционное силовое воздействие на частицы, соударение частиц между собой, и о торцовые стенки молотков и перфорированного барабана.

4. При сложном движении перфорированного барабана и инерционном силовом воздействии на частицы измельчаемого материала улучшается сепарация частиц через отверстия и вывод их в приемный бункер.

### Список библиографических ссылок

1. Барабашкин В.П. «Молотковые и роторные дробилки». – М.: Недра, 1973. – 142 с.
2. Серго Е.Е. Дробление, измельчение, грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985. – 249 с.
3. Осокин В.П. Молотковые мельницы. – М.: Энергия, 1980. – 176 с.
4. Антипов С.Т., Кретов И.Т. Машины и аппараты пищевых производств. – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.
5. Борщев В.Я. «Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы». – Тамбов: Издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. – 112 с.
6. Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. – СПб.: СПГГИ, 2007. – 439 с.
7. Авт. св. №1502089 СССР. П.Г. Мудров, А.Г. Мудров, И.Ю. Портнов. МПК В 02С 13/02. Заявлено 10.08.1987, опубликовано 23.08.1989, Б.И. № 31.
8. Мудров А.Г. Использование пространственных механизмов в строительной технике. // Механизация строительства, № 8, 2015. – С. 27-29.
9. Мудров А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой. – Казань: РИЦ «Школа», 2003. – 300 с.
10. Мудров А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой (Исследование). – Казань: РИЦ «Школа», 2004. – 180 с.

**Mudrov A.G.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [Alexmudrov42@rambler.ru](mailto:Alexmudrov42@rambler.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Hammer mill

#### Resume

Shredding material is widely used in many fields of engineering and technology. And depending on the particle size of the final product of this process to use different machines – crushers and grinders. The most common crusher and mill one and two-rotor with rigidly or hinged on them with hammers.

The offered hammer mill in which in addition to the rotational motion of a rotor with hammer rotates further perforated drum, and the speed of rotation of the drum and rotor are different and have opposite rotation, thus achieving high speed impact of hammers. By means of two cranks, connecting rod and gears with internal gear drum and a rotor with hammers have a reciprocating rocking motion. This combination of movements of the rotor and the drum substantially intensified the process of grinding pieces of material, the separation and withdrawal of the hopper, as also on the particle are the inertia force. From one drive source a rotational movement is getting perforated drum, rotor with hammers, and reciprocating rocking motion of the camera with the drum and the rotor.

**Keywords:** hammer mill, perforated drum, rotor, hammers, cranks, connecting rod grinding.

**Reference list**

1. Barabaskin V.P. Hammer and rotary crushers. – M.: Nedra, 1973. – 142 p.
2. Sergo E.E. Crushing, grinding, screening minerals. – M.: Nedra, 1985. – 249 p.
3. Osokin V.P. Hammer mills. – M.: Energy, 1980. – 176 p.
4. Antipov S.T. Kretov I.T. Machines and equipment for food production. – M.: Higher school, 2001. – 703 p.
5. Borschev V.Y. Equipment for crushing of materials crusher and mills. – Tambov: Publishing House of Tambov State Technical University, 2004. – 112 p.
6. Andreev E.E., Tikhonov O.N. Crushing, grinding and preparation of raw materials for enrichment. – SPb.: SPGGI, 2007. – 439 p.
7. Ed. SV. № 1502089 of the USSR. P.G. Mudrov, A.G. Mudrov, J.Y. Portnov. IPC 02C 13/02. Stated 10.08.1987 published 23.08.1989, B.I. № 31.
8. Mudrov A.G. The use of spatial mechanisms in construction machinery. // *Mekhanizatsiya Stroitel'stva*, № 8, 2015. – P. 27-29.
9. Mudrov A.G. Spatial mechanisms with a special structure. – Kazan: RIC «School», 2003. – 300 p.
10. Mudrov A.G. Spatial mechanisms with a special structure (Study). – Kazan: RIC «School», 2004. – 180 p.