

Лекция № 3

1. Дробилки ударного действия:
 - роторная дробилка;
 - молотковая дробилка;
 - стержневые мельницы.
2. Машины для помола материалов:
 - машины ударно-истирающего действия;
 - измельчители раздавливающего и истирающего действия.

2. Дробилки ударного действия

В дробилках ударного действия измельчение материала осуществляется под действием ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникать при взаимном столкновении частиц измельчаемого материала, столкновении частиц материала с неподвижной поверхностью, столкновении материала и движущихся рабочих органов машин.

Дробление материала происходит под воздействием механического удара. При этом кинетическая энергия движущихся тел частично или полностью переходит в деформации разрушения.

Дробилки ударного действия применяют для измельчения малоабразивных материалов средней прочности. Они обеспечивают высокую степень измельчения $i = 15 \div 20$, в отдельных случаях до $i = 50$, что позволяет уменьшить число

По конструкции рабочих органов дробилки ударного действия делят:

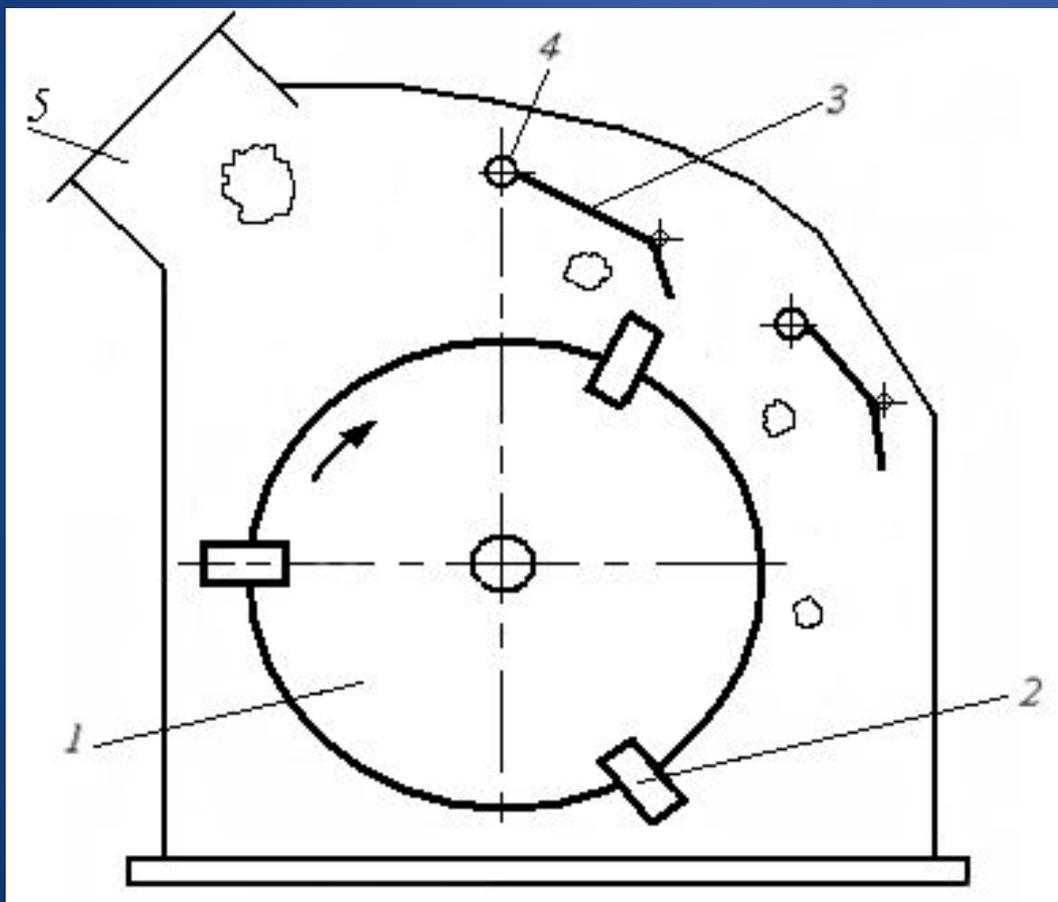
- на роторные с жестко закрепленными билами;
- молотковые с шарнирно подвешенными молотками;
- пальцевые измельчители.

По числу роторов различают однороторные и двухроторные дробилки.

- *Роторная дробилка*

По технологическому назначению роторные дробилки делят на дробилки крупного (ДРК), среднего (ДРС) и мелкого (ДРМ) дробления. Принципиальные конструктивные схемы роторных дробилок во многом одинаковы и отличаются числом отражательных плит и соотношениями размеров ротора.

Принципиальная схема однороторной дробилки



1 – ротор;

2 – палец (било);

3 – отражательная

4 – ось подвеса

5 – загрузочная

Корпус дробилки – сварной, разъемный, состоит из основания и верхней части. Верхняя часть корпуса изнутри футерованы сменными броневыми плитами. Футеровочные плиты (бронеплиты) решают проблему защиты внутренних поверхностей дробилки от разрушения в процессе их работы. В пазах корпуса ротора 1 закреплены пальцы (билы) 2 из износостойкой стали. Ротор вращается в подшипниках, закрепленных на корпусе дробилки. Внутри верхней части корпуса шарнирно закреплены несколько отражательных (отбойных) плит 3. Ротор вращается с высокой скоростью в сторону отражательных плит. Отражательные плиты укреплены на корпусе дробилки нежестко.

При попадании в дробилку недробимых кусков плиты отклоняются в сторону, так как они закреплены на осях 4. У дробилок ДРК – две плиты, у дробилок ДРС и ДРМ – три плиты. В загрузочной воронке 5 установлены цепные шторы, которые предотвращают выбрасывание материала из рабочего пространства. Разгрузка дробленого продукта производится через разгрузочное устройство дробилки (на рисунке не показано).

В ударе била по куску участвует вся масса ротора.

Конструктивные размеры однороторных дробилок определяют в зависимости от размера d_H максимального куска в исходном материале.

	Диаметр ротора	Длина ротора
Дробилка крупного дробления	$D_p = (1,5 \div 3,0)d_H$	$L_p = 0,8D_p$
Дробилка среднего дробления	$D_p = (3 \div 10)d_H$	$L_p = D_p$
Дробилка мелкого дробления	$D_p \geq 10d_H$	

Типоразмер роторных дробилок определяется диаметром и длиной ротора.

- *Молотковая дробилка*

Молотковые дробилки отличаются от роторных тем, что процесс дробления определяет лишь кинетическая энергия самого молотка.

Молотки шарнирно крепятся на роторе. Общее количество молотков определяется назначением дробилки и ее размерами. На крупных дробилках устанавливают до 100 молотков массой от 4 до 70 кг (в зависимости от типоразмера дробилки).

В нижней части корпуса имеется колосниковая решетка. Размер частиц измельченного материала определяется размером отверстий в колосниковой решетке, которую в зависимости от требований можно заменять.

В молотковой дробилке можно разрушать материал и без решетки, но тогда гранулометрический состав измельченного продукта будет иметь большой разброс.

Колосниковые решетки быстро изнашиваются, поэтому молотковые дробилки не рекомендуются для дробления крепких, абразивных материалов. Также молотковые дробилки не рекомендуются для дробления слишком вязких и влажных материалов, так как решетка быстро забивается, что ведет к снижению производительности.

Конструктивные размеры молотковых дробилок рассчитывают в зависимости от размера d_n максимального куска в исходном материале.

Диаметр ротора молотковых дробилок $D_p = (3,3 \div 4)d_n$,

длина ротора $L_p = (0,7 \div 1,5)D_p$.

Длина молотка (от оси подвески до внешней кромки)

$l_m = (0,2 \div 0,25)D_p$.

Типоразмер молотковых дробилок определяется диаметром и длиной ротора.

К преимуществам роторных и молотковых дробилок следует отнести высокую степень дробления, большую производительность по сравнению с производительностью других дробилок, меньшую массу и более низкий удельный расход электроэнергии. Недостатки – большой износ бил и молотков.

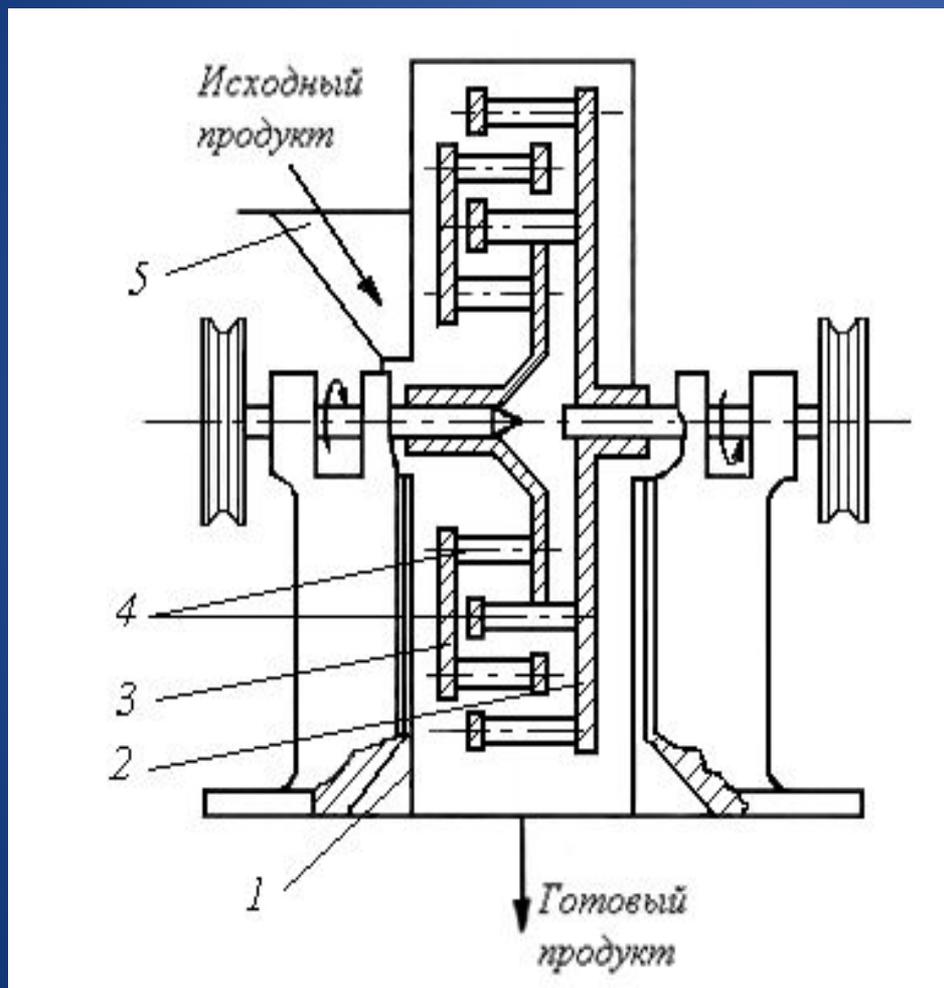
Молотковые и роторные дробилки требуют тщательной балансировки ротора. Исходный материал должен загружаться со скоростью, согласованной со скоростью вращения ротора.

- *Пальцевые измельчители (стержневые мельницы)*

В пальцевых измельчителях рабочим органом являются два диска с установленными по их периферии пальцами. Различают пальцевые измельчители с одним вращающимся диском (дисмембраторы) и с двумя вращающимися навстречу друг другу дисками (дезинтеграторы).

○ Дезинтегратор

Принципиальная схема дезинтегратора:



1 – корпус;

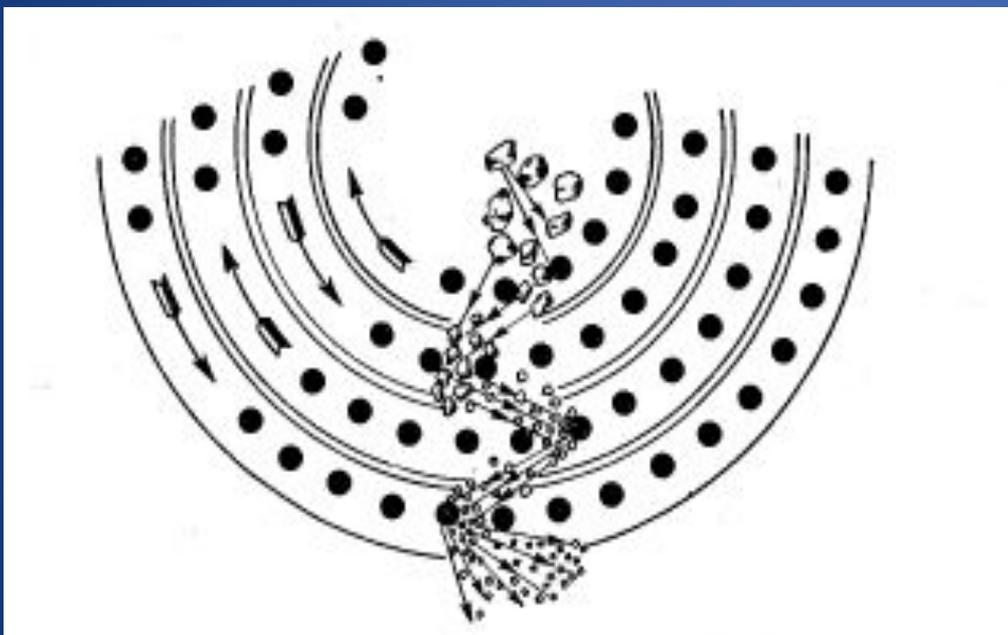
2, 3 – диски;

4 – пальцы;

5 – загрузочная

Дезинтегратор состоит из корпуса 1, двух входящих друг в друга роторов, представляющих собой диски (корзины) 2 и 3 с закрепленными в них размольными элементами в виде пальцев 4. Каждый из роторов насажен на отдельный вал. Вращаются роторы в противоположные стороны. Пальцы одного диска проходят между рядами пальцев другого. По мере удаления от центра расстояние между пальцами уменьшается. Измельчаемый материал подается во внутреннюю зону через воронку 5. При попадании на стержни частицы измельчаемого материала отбрасываются центробежной силой наружу через ряды стержней. Материал проходит между стержнями и измельчается под действием ударно-отражательной нагрузки. На периметре корпуса находится сменная сетка, сквозь которую проходит измельченный продукт.

Схема движения частиц материала между пальцами дисков



Частица, попавшая в дезинтегратор, сначала сталкивается с одним из пальцев первого (внутреннего) ряда и разрушается при столкновении. Получившиеся осколки отбрасываются к пальцам второго ряда и разрушаются при столкновении на более мелкие фрагменты и так далее.

В зависимости от размера дезинтегратора число концентрических рядов пальцев на одном диске колеблется от 2 до 4, и, следовательно, на двух дисках от 4 до 8 рядов. Окружная скорость внешнего ряда пальцев находится в пределах 22÷37 м/с.

Пальцы изготавливают из высокопрочных материалов. Диаметр и длина пальцев определяются конкретным назначением и размером машины.

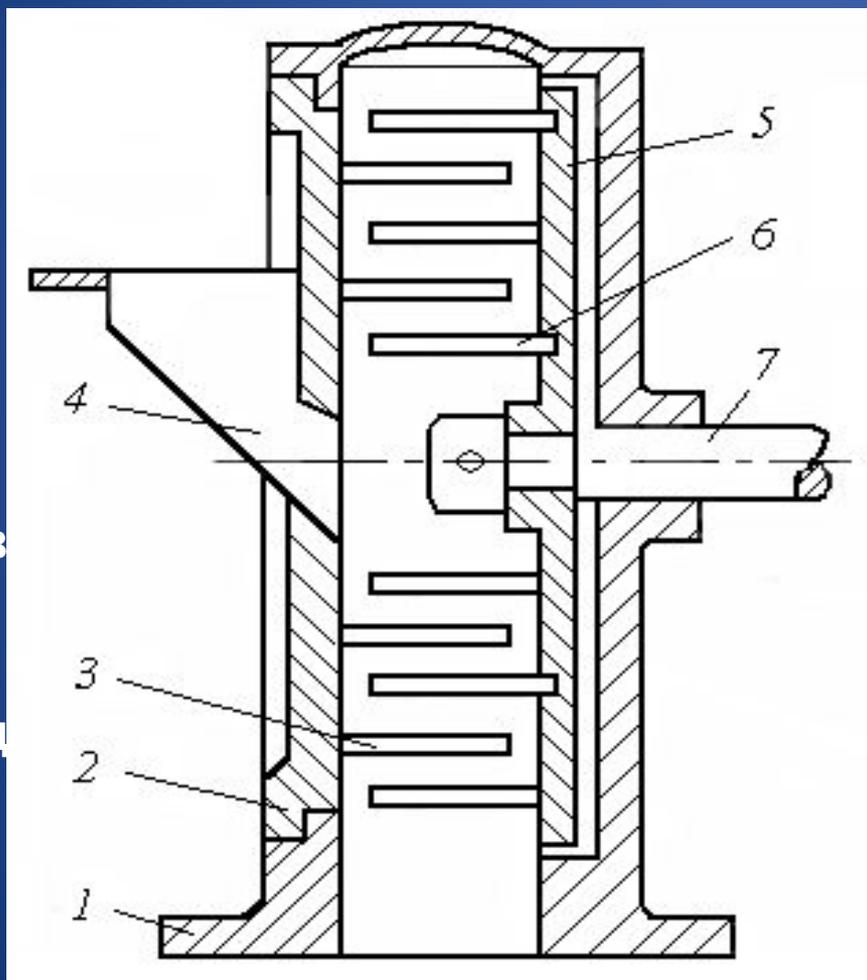
Чем выше скорость вращения дисков, чем больше рядов и пальцев на дисках, тем выше степень измельчения барабана.

Степень измельчения i в дезинтеграторах может достигать до 40, но чаще не превышает 10, так как при больших значениях сильно снижается производительность.

Самое уязвимое место дезинтегратора – пальцы. Они сравнительно быстро изнашиваются, а их замена является громоздкой и длительной операцией. Поэтому дезинтеграторы используют для измельчения хрупких, мягких пород с малой абразивностью. К недостаткам дезинтеграторов также относится повышенная энергоемкость, большое пылеобразование, отсутствие устройств, предотвращающих поломки при попадании недробимых тел.

○ Дисмембратор

Принципиальная схема дисмембратора



1 – корпус;

2 – откидная крышка;

3 – пальцы;

4 – загрузочная

5 – вращающийся

6 – пальцы;

7 – приводной вал

В дисмембраторе вращается один диск. Второй диск неподвижен; его функцию выполняет боковая крышка корпуса, на внутренней поверхности которой жестко укреплены концентрические ряды пальцев. При этом условии для создания больших относительных скоростей между ударными телами вращающемуся диску придают большую угловую скорость. Окружная скорость внешнего концентрического ряда пальцев достигает $60\div 120$ м/с.

Литой корпус дисмембратора 1 для удобства чистки и смены пальцев имеет откидную крышку 2, к которой прикреплены неподвижные пальцы 3. Подвижный диск 5 с установленными на нем по концентрическим окружностям пальцами (ударными стержнями) 6 закреплен на приводном валу 7.

Различают дисмембраторы с вертикальным и горизонтальным валом ротора. Оба эти типа предназначены для тонкого непрерывного сухого измельчения красителей, пигментов и

3. Машины для помола материалов

- Машины ударно-истирающего действия
 - *Барабанные мельницы*

По способу возбуждения движения мелющих тел барабанные мельницы делятся:

- на мельницы с вращающимся барабаном;
- вибрационные мельницы;
- центробежные мельницы.

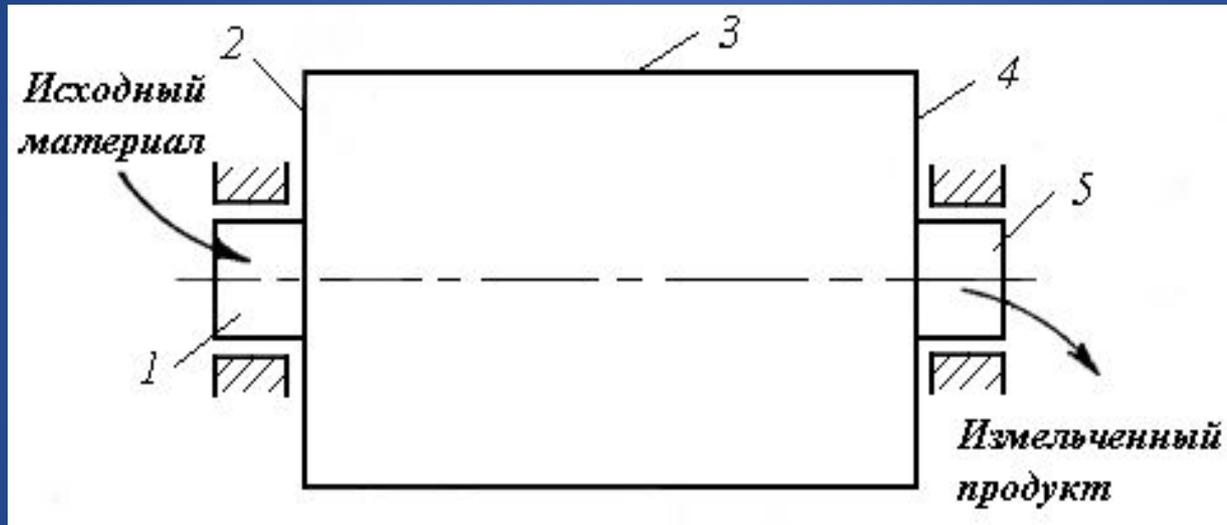
Этот класс машин используется для грубого, среднего, тонкого и сверхтонкого помола горнохимического сырья, руд, известняка, солей, шлаков и других материалов.

По *режиму работы* различают барабанные мельницы периодического и непрерывного действия, а по *способу помола* – сухого и мокрого помола.

– Мельницы с вращающимся барабаном

Среди барабанных мельниц наиболее распространены вращающиеся барабанные мельницы.

Схема устройства барабанной мельницы:



Барабанные мельницы представляют собой пустотелый цилиндрический барабан 3, выложенный изнутри броней и закрытый торцевыми крышками 2 и 4. К крышкам крепятся пустотелые цапфы 1 и 5. Цапфы опираются на подшипники, и барабан медленно вращается вокруг горизонтальной оси. Барабан заполняется определенным количеством измельчающих тел.

В зависимости от формы барабана различают мельницы цилиндрические и цилиндро-конические.

По отношению длины L к диаметру барабана D различают:

- короткие мельницы $L/D < 1$;
- длинные мельницы $1 < L/D < 3$;
- трубные мельницы $L/D > 3$.

Длинные барабаны позволяют увеличить время пребывания в них материала и получить более тонкий помол за один проход, а также уменьшить диаметр барабана у мельниц большой производительности. Трубные мельницы применяются в цементной промышленности.

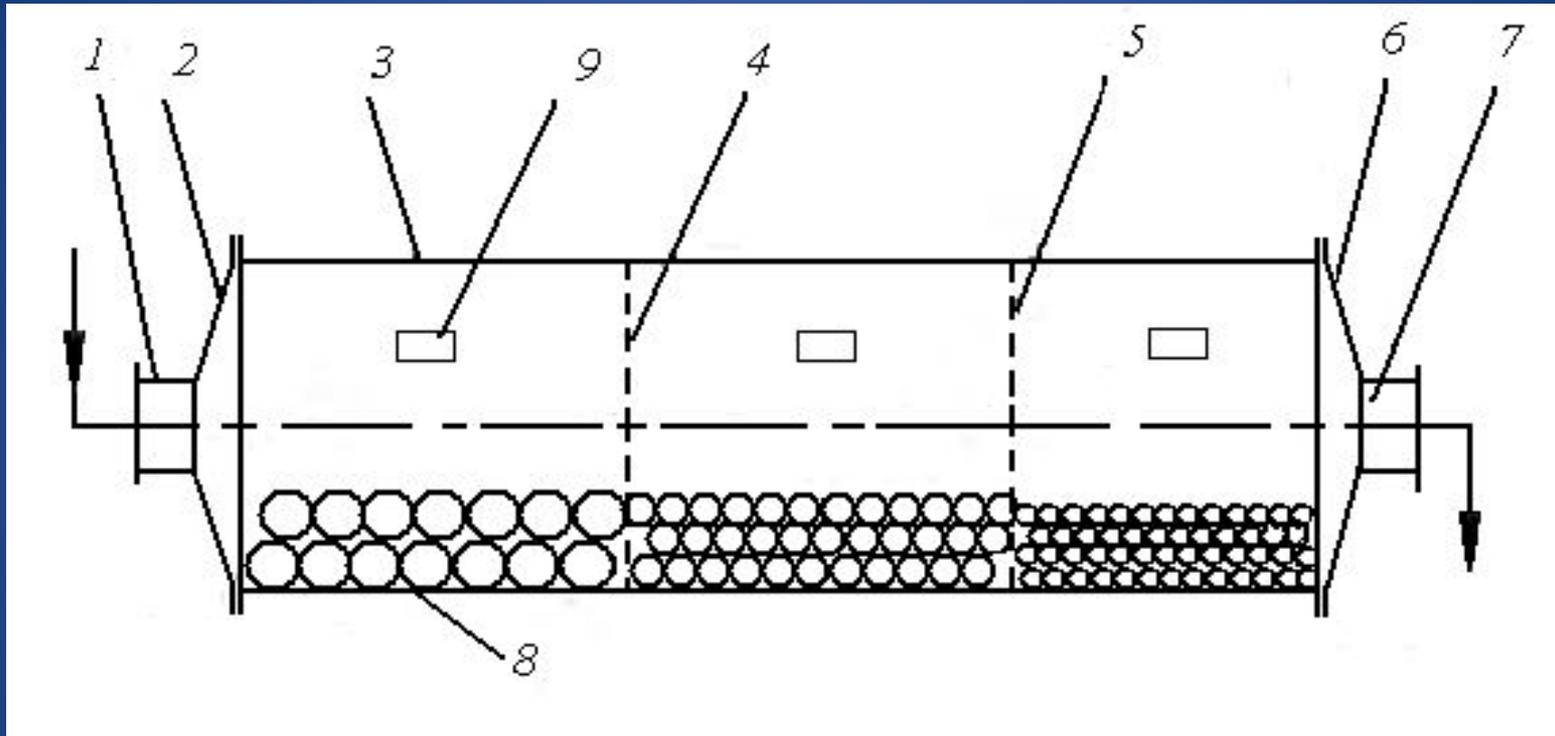
В непрерывно работающих мельницах измельчаемый материал подается через центральное отверстие в одной из крышек внутрь барабана и, продвигаясь вдоль него, разрушается

По виду мелющих тел мельницы бывают шаровые, стержневые и галечные. Существуют также мельницы, работающие по принципу самоизмельчения, когда функцию мелющих тел выполняют куски измельчаемого материала.

Наиболее распространены шаровые мельницы. Измельчающая среда в них – стальные или чугунные шары одного или нескольких размеров диаметром 30÷120 мм, фарфоровые или другие неметаллические шары.

Конструктивно вращающиеся барабанные мельницы делятся на однокамерные и многокамерные. Камеры разделяются перфорированными перегородками. Материал измельчается последовательно по мере его продвижения от места загрузки к месту выгрузки. Увеличение числа камер повышает эффективность измельчения, но усложняет мельницу.

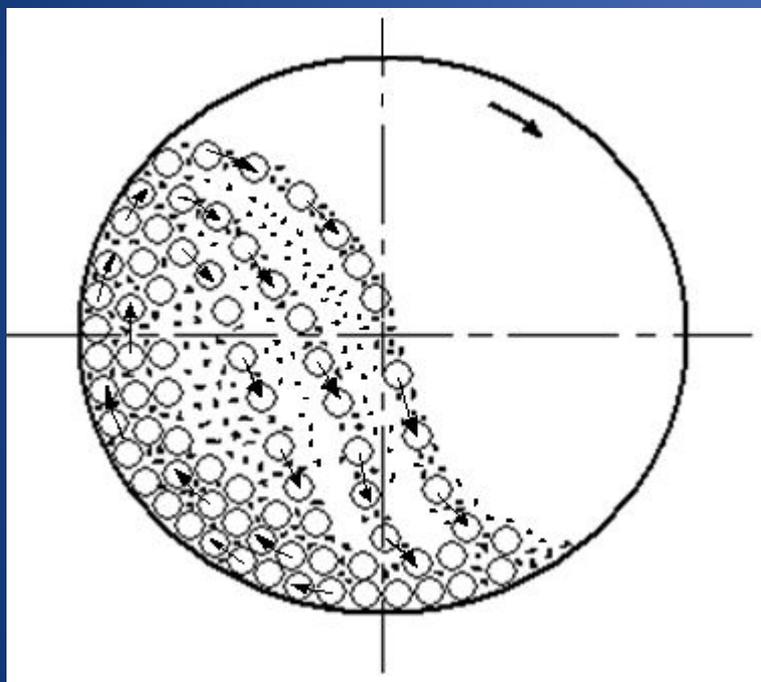
Принципиальная схема трехкамерной шаровой мельницы:



1 – цапфа питания; 2, 6 – крышки; 3 – барабан; 4, 5 – перегородки; 7 – выходная цапфа; 8 – мелющие тела; 9 – люк

Мельница состоит из полого сварного барабана 3, закрытого с обеих сторон стальными литыми крышками 2 и 6 и с полыми цапфами 1 и 7. Внутренняя полость барабана делится двумя перегородками (диафрагмами) с щелевыми отверстиями 4 и 5 на три камеры, заполненные стальными шарами. Загрузку и выгрузку мелющих тел производят через люки 9, имеющиеся у каждой камеры. Самые крупные шары – в первой камере, самые мелкие – в третьей. Это повышает эффективность помола за счет обеспечения соответствия размеров шаров и кусков измельчаемого материала. Внутренняя поверхность барабана и крышек футерована плитами из износостойких материалов со звукоизолирующими прокладками.

Движение загруженного в шаровую мельницу материала



При вращении полого барабана смесь измельчаемого материала и мелющих тел (шаров) сначала движется по круговой траектории вместе с барабаном, а затем, отрываясь от стенок, падает по параболической траектории. Часть смеси, расположенная ближе к оси вращения, скатывается вниз по слоям смеси. Измельчение материала происходит под воздействием удара, а также, частично, раздавливания и истирания.

Скорость вращения шаровой мельницы настраивается с учетом диаметра трубы. То есть она не может быть слишком высокой, иначе шары под действием центробежных сил будут так сильно прижаты к стенкам трубы, что не смогут оторваться и свалиться вниз. При слишком же низкой скорости вращения шары не будут захватываться и подниматься вверх – им останется только кататься относительно друг друга. При слишком высокой и слишком низкой скоростях вращения резко падает производительность измельчения.

Оптимальная угловая скорость вращения барабана равна $\omega_{\text{опт}}$, рад/с

$$\omega_{\text{опт}} = 2,38/\sqrt{R} ,$$

где R – внутренний радиус барабана, м.

Масса загрузки состоит из массы мелющих тел и массы измельчаемого материала, которая составляет примерно 14 % массы мелющих тел.

Вследствие простоты замены изнашивающихся мелющих тел и футеровки барабана на шаровых мельницах можно измельчать очень твердые, а также абразивные материалы. Достигаемая в барабанных мельницах степень измельчения материала $i = 50 \div 100$.

Типоразмер барабанного мельницы определяется внутренним диаметром D барабана (без футеровки) и длиной его цилиндрической части L .

Достоинствами барабанных мельниц являются:

- простота конструкции,**
- удобство в эксплуатации.**

К их основным недостаткам относятся:

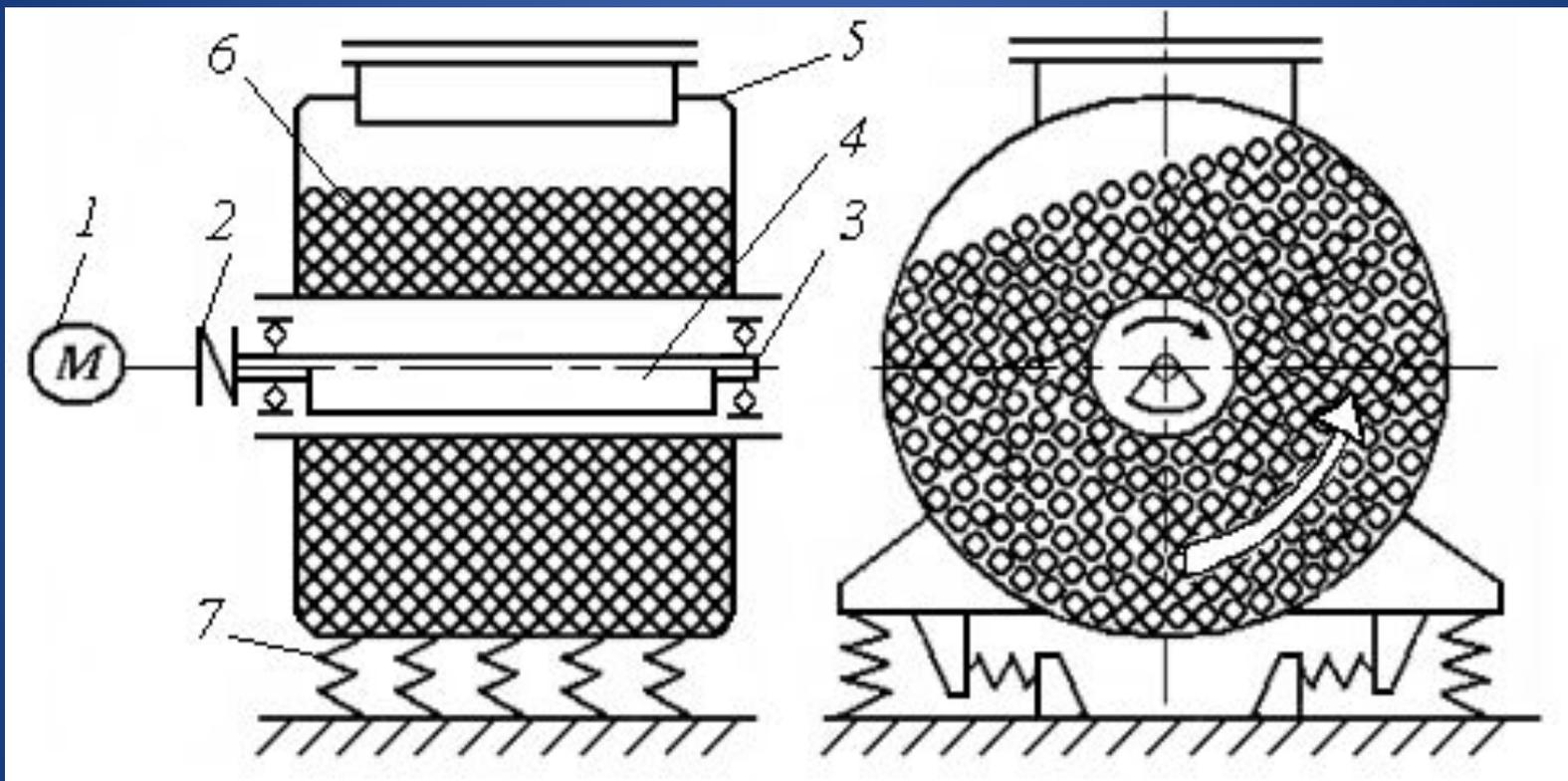
- невысокие скорости движения мелющих тел и материала,**
- в измельчении участвует только часть мелющих тел.**

– Вибрационная мельница

Различают вибрационные измельчители периодического и непрерывного действия.

В вибрационных мельницах в качестве мелющих тел используют шары, которые изготавливают из стали, твердых сплавов или фарфора.

Схема вибрационной мельницы инерционного типа:



1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – вал; 4 – дебалансная масса; 5 – корпус; 6 – шары; 7 – пружины

Вибрационный измельчитель инерционного типа состоит из электродвигателя 1, соединенного через муфту 2 с валом 3 с дебалансной массой 4. Корпус 5 установлен на пружинах 7 и заполнен шарами 6. При вращении вала с частотой 1500÷3000 об/мин корпус совершает колебательное движение. От корпуса колебания передаются шарам, которые начинают с соударениями медленно циркулировать в сторону, противоположную вращению вала. При колебаниях шаров происходят их отрывы от корпуса.

Вибрационные измельчители имеют амплитуду вибраций 3÷20 мм.

Эти измельчители применяются для сухого и мокрого измельчения.

Степень измельчения в вибрационной мельнице периодического действия зависит от времени пребывания материала в зоне измельчения, а производительность мельницы – от физико-механических свойств измельчаемого материала. С увеличением степени измельчения производительность мельницы уменьшается.

В вибрационных мельницах целесообразно измельчать материалы с начальным диаметром зерен 1÷2 мм до конечного диаметра менее 60 мкм. При сверхтонком измельчении эффективность этих мельниц в 5–30 раз превышает эффективность шаровых мельниц при значительно меньшем удельном расходе мощности.

При вибрационном измельчении значительная часть энергии, расходуемой на измельчение, превращается в теплоту. В результате этого температура внутри мельницы может значительно повыситься, что при измельчении ряда

- Измельчители раздавливающего и истирающего действия

К машинам рассматриваемого типа относятся:

- бегуны;

- катково-тарельчатые измельчители (роликовые; шарокольцевые; роликомаятниковые);

- бисерные измельчители.

Их применяют преимущественно для среднего помола материалов средней прочности и мягких; исключение составляют лишь бисерные измельчители (мельницы), в которых возможен и сверхтонкий помол.

o *Бегуны*

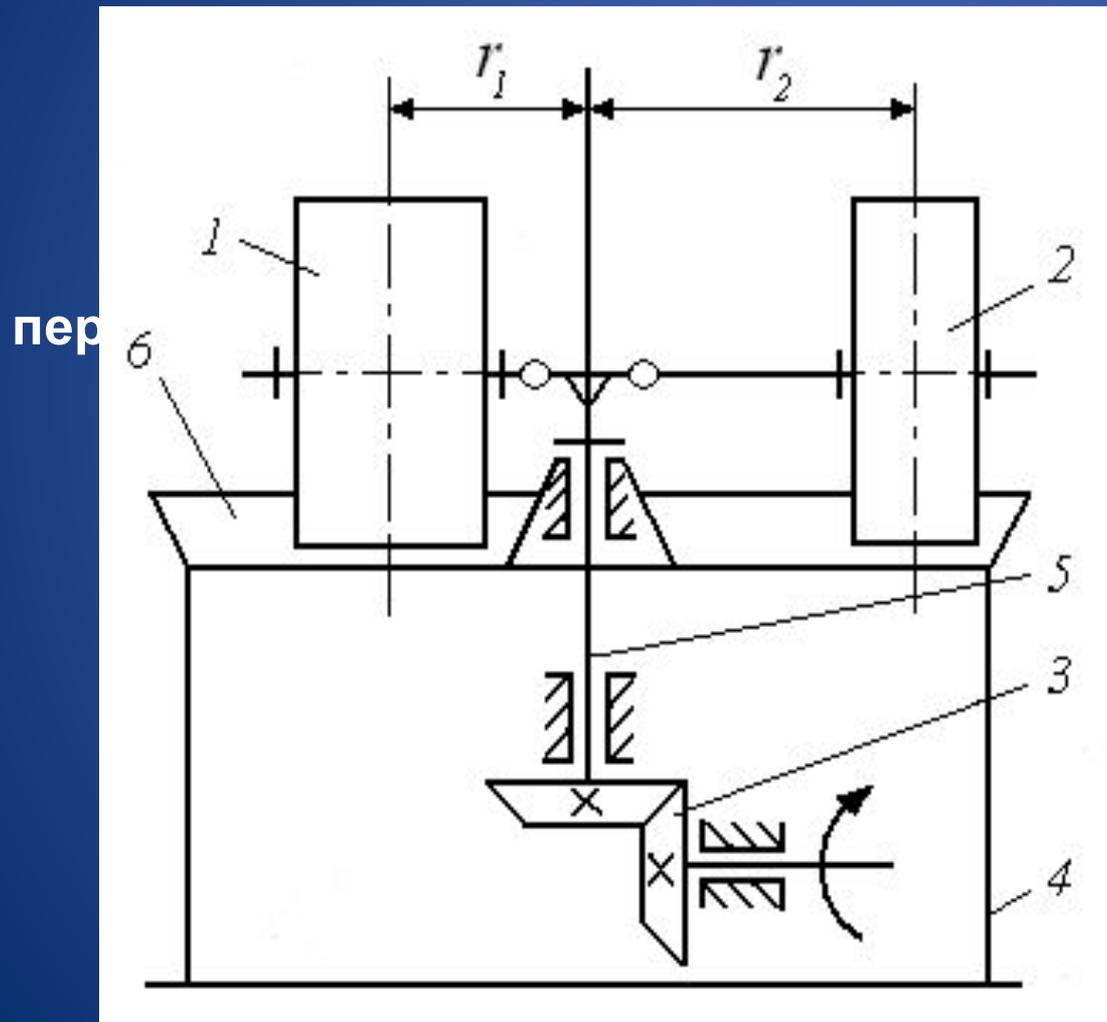
Бегуны считаются одним из старейших способов измельчения.

Бегуны применяются и для мелкого дробления, и для помола.

В них может осуществляться как сухой, так и мокрый помол материалов. Кроме того, бегуны могут также обеспечить растирание, гомогенизацию, уплотнение и обезвоздушивание материала.

В бегунах с вращающимися катками массивные катки, перекатываясь по слою материала, находящемуся на неподвижной чаше – поддоне, измельчают его раздавливанием и истиранием.

Схема бегунной мельницы с вращающимися катками:



1, 2 – катки;

3 – зубчатая

4 – станина;

5 – вал;

6 – чаша

Бегуны с вращающимися катками 1, 2 имеют нижнее расположение привода. От электродвигателя через редуктор и муфту вращение передается конической зубчатой передаче 3, размещенной в станине машины 4. Ведомое колесо передачи приводит во вращение вал 5 с двумя закрепленными на нем кривошипами, несущими оси катков. Катки расположены с зазором над чашей 6, в которой уложены плиты из износостойкого материала. Периферийная часть плит имеет щели, через которые продавливается измельченный материал. Чугунные катки имеют сменные бандажи. Массивные катки перекатываются по поддону и одновременно вращаются вокруг собственных осей.

Измельчаемый материал подается через воронку под катки. Имеются специальные скребки, вращающиеся вместе с валом, которые возвращают на дно чаши материал, оттесненный катками. Кривошипное соединение оси катка с вертикальным валом позволяет ему приподниматься при

Бегуны изготавливают с неподвижным поддоном, по которому перекатываются катки, и с вращающимся поддоном.

Применяют также бегуны как с верхним, так и с нижним расположением привода.

Бегуны мокрого помола имеют нижнее расположение привода.

В тихоходных бегунах с вращающейся чашей центробежная сила инерции должна быть меньше силы трения:

$$mgf \geq m\omega^2 R ,$$

где m – масса куска, g – ускорение свободного падения, f – коэффициент трения материала о чашу, R – средний радиус чаши.

Преобразования дают

$$\omega \leq \sqrt{\frac{gf}{R}} = 3,13 \sqrt{\frac{f}{R}} ,$$

где ω – угловая скорость вращения чаши, рад/с.

В бегунах с подвижными катками последние могут устанавливаться на разных радиусах от центра поддона, чтобы они перекрывали большую площадь. При таком расположении катков их массы m_1 и m_2 и расстояния r_1 и r_2 от центра масс до вертикальной оси определяются из условия уравнивания центробежных сил катков

$$m_1 \omega^2 r_1 = m_2 \omega^2 r_2 ,$$

то есть необходимо соблюдение условия

$$m_1 r_1 = m_2 r_2 .$$

Главным параметром бегунов является диаметр D и ширина b катков. Для мокрого помола выпускают бегуны с размерами $D \times b$ от 1200×300 до 1800×550 мм. Для сухого помола изготавливают бегуны с $D \times b$ от 600×200 до 1800×450 мм.

Диаметр катка определяется условиями захвата куска материала. Минимально допустимое отношение диаметров катка D и измельчаемого куска d должно быть таким, чтобы угол захвата не превышал двойного угла трения.

$$D \geq (1/f^2)d,$$

где f – коэффициент трения.

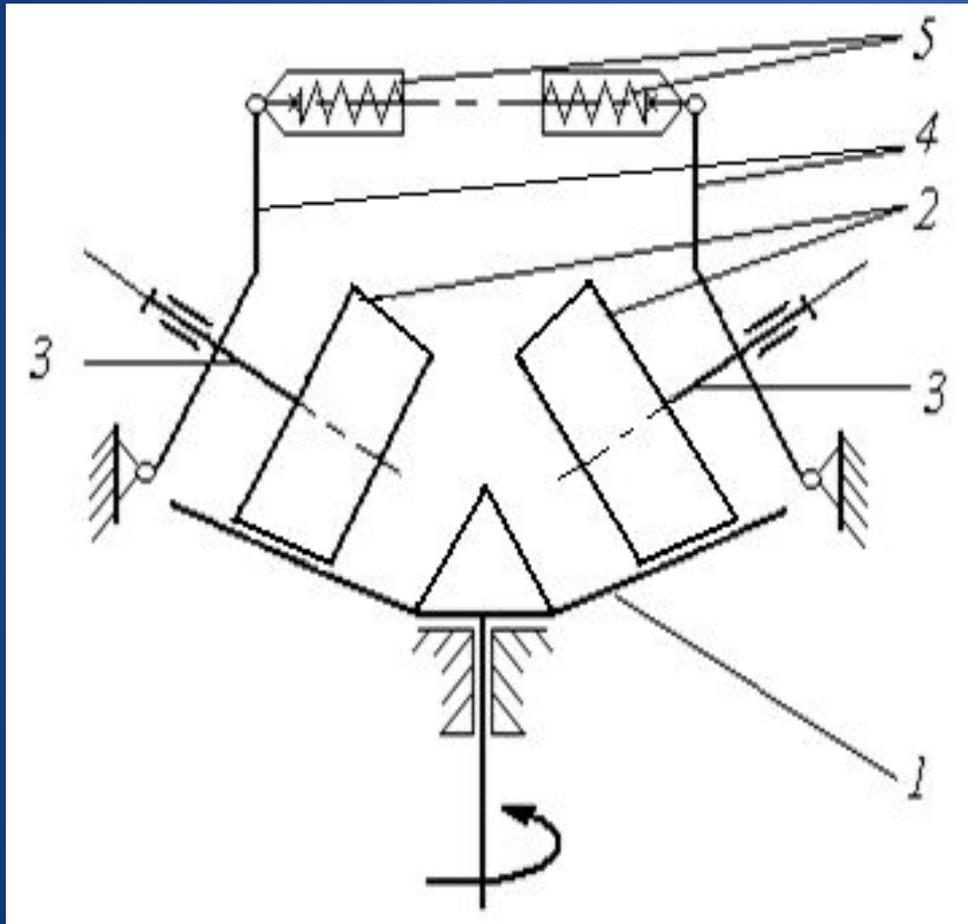
Для материалов средней прочности при сухом помоле $D/d = 11$, а для материалов типа глины ($f = 0,45$) $D/d = 5$.

- *Катково-тарельчатые измельчители*

Наибольшее распространение данный тип мельниц получил в производстве строительных материалов. Традиционно катково-тарельчатые мельницы в данной отрасли называются среднеходовыми мельницами. Все типы этих мельниц эффективно работают при помоле мягких и средней прочности неабразивных материалов.

Принципиальная схема роликовой мельницы с вращающимися валками:

валками:



1 – тарелка;

2 – валки;

3 – ось;

4 – рычаг;

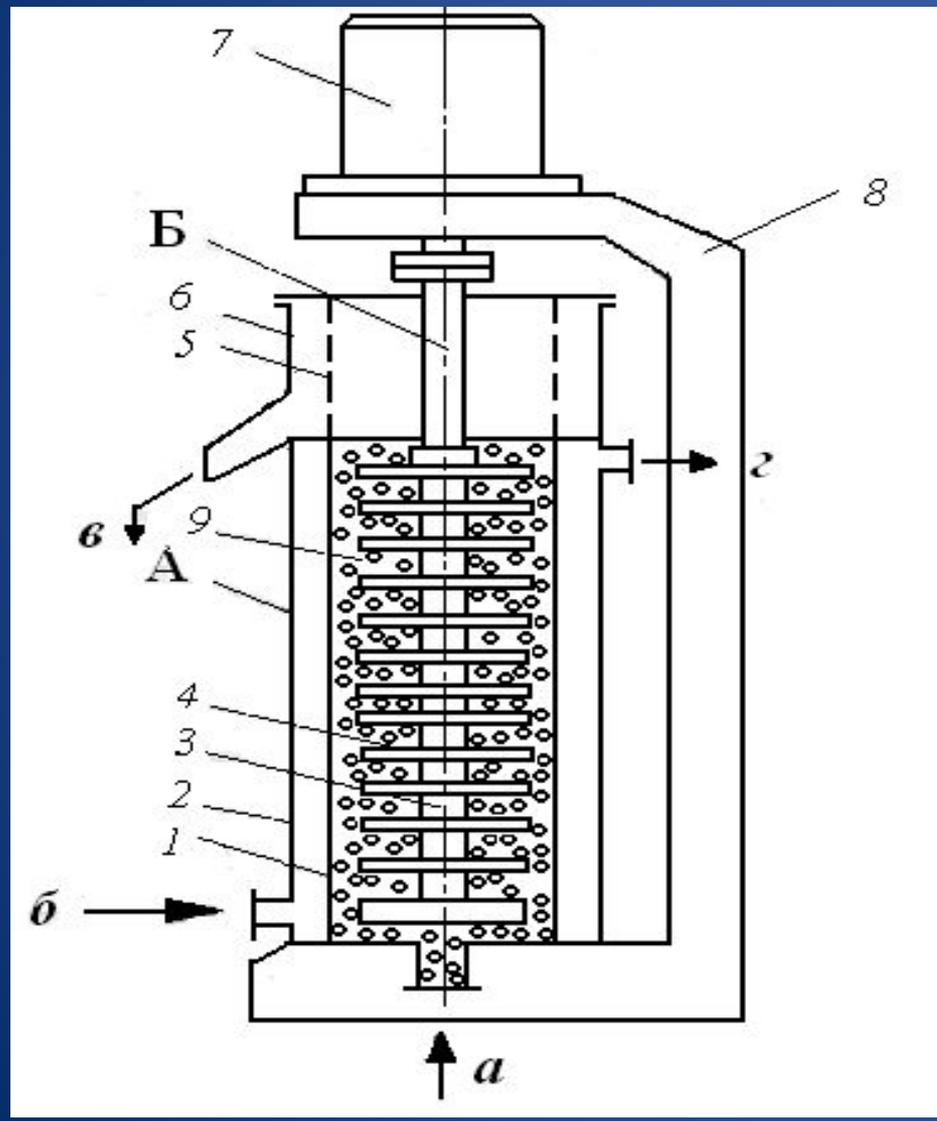
5 – нажимная пружина

Катки (валки) 2 прижимаются к вращающейся тарелке 1 специальным механизмом, состоящим из оси 3, рычага 4 и нажимной пружины 5. Сбрасываемые с тарелки центробежной силой частицы измельченного материала подхватываются потоком воздуха и уносятся вверх в сепаратор. Размалывающие валки снабжены сменными бандажами, а вращающиеся тарелки бронированы съемными плитами.

Катково-тарельчатые измельчители по сравнению с бегунами, где усилие раздавливания определяется весом катков, обладают несомненным преимуществом — они имеют существенно меньшие габаритные размеры

о Бисерная мельница

Принципиальная схема бисерного измельчителя:



- А – корпус;
- Б – дисковый ротор;
- 1 – цилиндр; 2 – кожух;
- 3 – вал;
- 4 – диски; 5 – сито;
- 6 – приемник;
- 7 – электродвигатель;
- 8 – станина;
- 9 – бисер или песок

Бисерные измельчители находят широкое применение в лакокрасочной промышленности.

Бисерный (песочный) измельчитель, показанный на рис. 18, состоит из корпуса А, дискового ротора Б и станины 8, внутри которой размещаются насосы. Дисковый ротор, приводимый во вращение электродвигателем 7, состоит из вала 3 и насаженных на него дисков 4.

Цилиндр примерно на $2/3$ или $3/4$ объема заполняют специально приготовленным кремне-кварцевым бисером (размер частиц $1 \div 2$ мм) или крупнозернистым износостойким песком (размер частиц $0,6 \div 0,8$ мм). При вращении ротора его диски приводят бисеринки или песчинки в движение, интенсивность которого растет с увеличением частоты вращения ротора.

Суспензия, предварительно подготовленная из пигмента и связующего, подается насосом через штуцер а в цилиндр 1, поднимается вверх, проходит через слой вибрирующих бисеринок или песчинок 9, интенсивно измельчается, перетирается, затем фильтруется через сито 5 и выводится по желобу в на дальнейшую обработку. Измельчение твердой фазы происходит раздавливанием и истиранием. Чем медленнее подъем суспензии по цилиндру и интенсивнее вибрация бисеринок, тем лучше перетирание пигмента и его смешивание со связующим. Для охлаждения цилиндра в кожух 2 через штуцеры б и г подают холодный агент.

Соотношение между диаметром и высотой цилиндра обычно составляет 1:4. Окружная скорость дисков – $9 \div 11$ м/с.