

# **Оборудование и технологии фармацевтического производства**

## **Измельчение и смешивание твердых материалов**

**Лектор Семкина Ольга Александровна  
Доц. каф. ОФ и БМТ**

# Цели измельчения

- Получение готовых продуктов - порошков, сборов;
- Получение полуфабриката, используемого предприятием для изготовления растворов, экстрактов, таблеток.

**Измельчение** – процессу уменьшения размера частиц путем механического воздействия  
Характеризуется степенью измельчения ( $i$ )

Измельчение рассчитывается по формуле:

$$i = D \setminus d$$

$D$  – размер кусков материала до измельчения

$d$  – размер кусков после измельчения

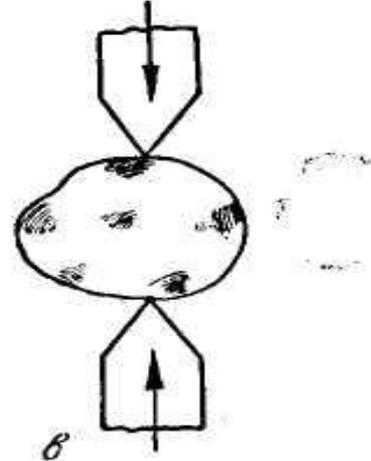
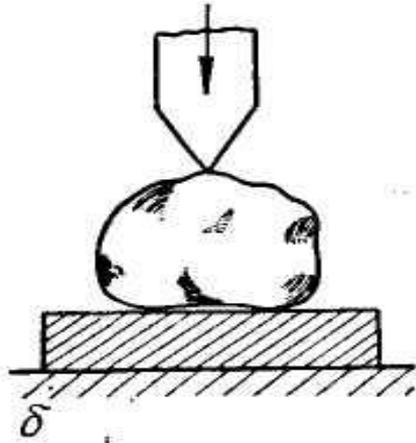
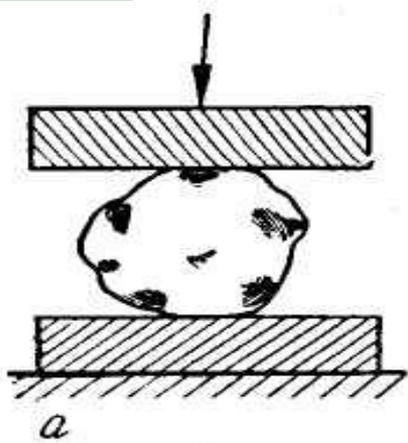
В зависимости от размера исходного материала ( $D$ ) и конечного продукта ( $d$ ) различают два типа измельчения:

**дробление и размол (порошкование)**

## Степень измельчения

Классы измельчения	$D$ , мм	$d$ , мм
Крупное (дробление)	1000÷200	250÷40
Среднее (дробление)	250 ÷ 50	40 ÷ 10
Мелкое (дробление)	50 ÷ 25	10 ÷ 1
Тонкое (размол)	25 ÷ 3	1 ÷ 0,4
Коллоидное (размол)	0,2 ÷ 0,1	до 0,001

# Способы измельчения



*а* — раздавливание  
*б, в* — раскалывание

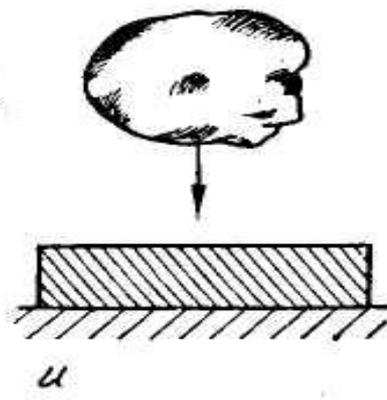
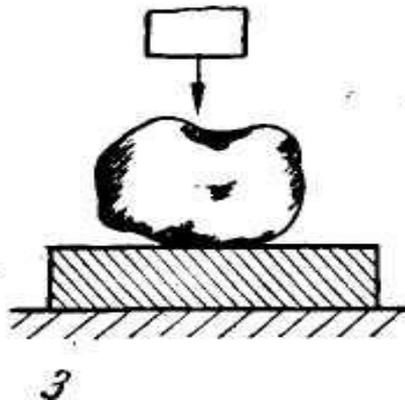
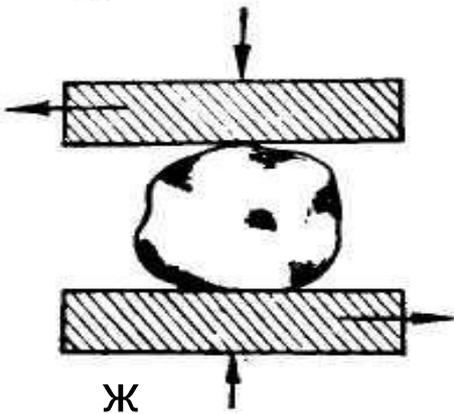
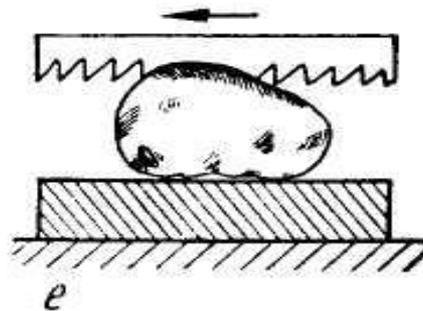
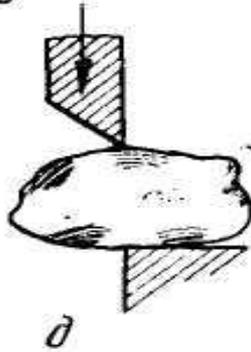
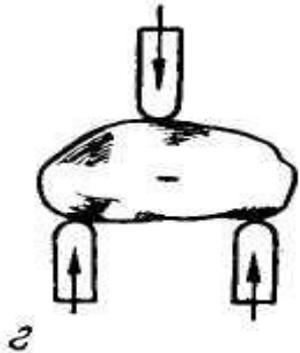
*г* — разламывание  
*д* — резание

*е* — распиливание

*ж* — истирание

*з* — жесткий удар

*и* — свободный удар



# ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

**Раздавливание (а)** Механическая сила прикладывается сверху прогрессивно, поверхности рабочих элементов измельчителя - плоские. Измельчаемое тело деформируется по всему объему, при разрушении получают кусочки разных размеров и формы.

**Раскалывание (б, в)** Сила прикладывается сверху и снизу внезапно или прогрессивно с помощью клинообразных рабочих элементов измельчителя. Тело распадается на части только в местах концентрации наибольших нагрузок, получающиеся кусочки однородны по размерам, но не по форме.

**Разламывание (г)** Измельчаемое тело разрушается под влиянием сил, действующих навстречу друг другу, одна верхняя сила между двумя нижними. Получающиеся кусочки однородны по размерам, но не по форме.

**Изрезывание (д)** Механическая сила прикладывается сверху, обычно рывком, рабочие элементы измельчителя острые, режущие (ножи). Получаются однородные кусочки требуемых размеров и формы.

**Распиливание (е)** Сила прикладывается со стороны прогрессивно, рабочие элементы измельчителя с острой зубчатой поверхностью. Получаются однородные кусочки нужных размеров и формы.

**Растирание (ж)** Сила прикладывается сверху и со стороны прогрессивно, поверхности рабочих элементов измельчителя сферические или плоские. Тело измельчается под действием одновременно сжимающих, растягивающих и режущих сил. Получаются порошкообразные продукты.

**Удар.** Тело разрушается под влиянием динамично (внезапно) действующих сил. Удар осуществляется следующим образом:

1) по измельчаемому телу - рабочими элементами измельчителя (молотками, падающими шарами). Ограниченный удар **(з)**

2) измельчаемое тело само сталкивается с рабочими элементами измельчителя в полете. Свободный удар **(и)**

**В первом случае** - эффект измельчения будет зависеть от кинетической энергии ударяющегося тела,

**Во втором** — определяется скоростью столкновений разрушаемого тела с рабочими элементами измельчителя.

# По способу измельчения машины делят:

Изрезающего и распиливающего действий  
(траворезки, корнерезки, машины с дисковыми пилами)

✓ **Раскалывающего и разламывающего** действий  
(щековые дробилки)

✓ **Раздавливающего** действия (вальцовые мельницы, валковые дробилки)

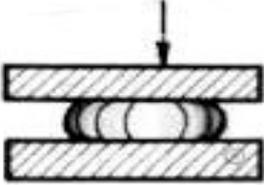
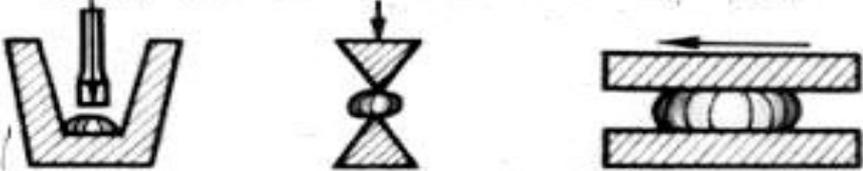
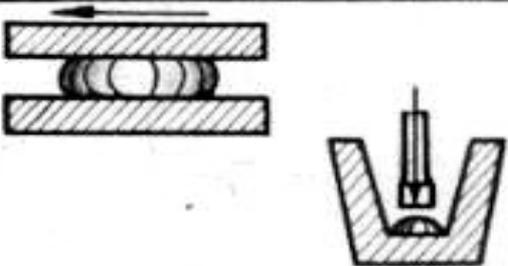
✓ **Истирающе-раздавливающего** действия  
(дисковые мельницы – эксцельсиор)

✓ **Ударного** действия (молотковые мельницы, дезинтеграторы, дисмембраторы, струйные мельницы)

✓ **Ударно-истирающего** действия (шаровые мельницы, вибромельницы)

✓ **Коллоидные** измельчители (струйные,

# Выбор метода измельчения в зависимости от физико-механических свойств материала

Материал	Метод измельчения
Твердый и хрупкий	<p>Раздавливание, удар</p> 
Твердый и вязкий	<p>Раздавливание</p> 
Хрупкий, средней твердости	<p>Удар, раскалывание и истирание</p> 
Вязкий, средней твердости	<p>Истирание или истирание и удар</p> 

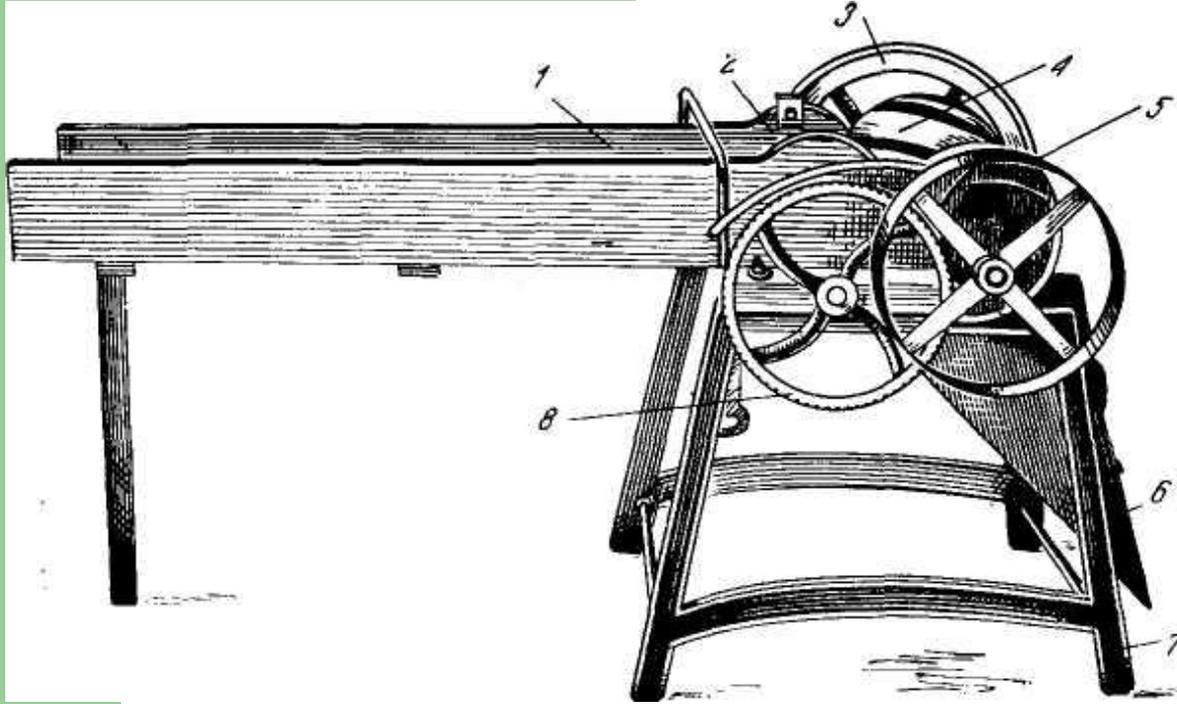
# Выбор типа машин в зависимости от вида измельчения

Виды измельчения

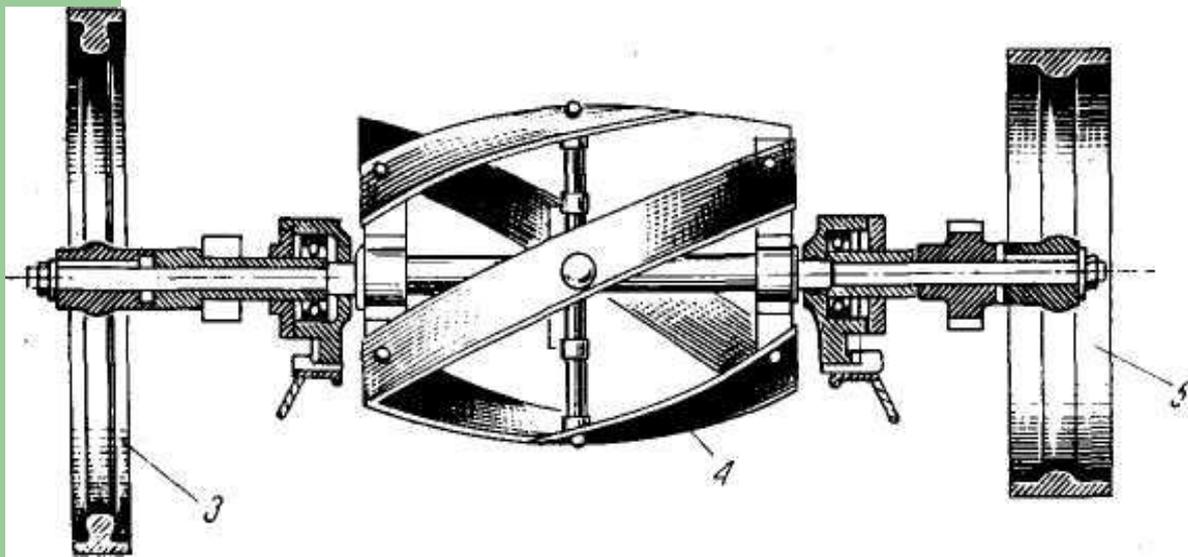
Типы машин



# ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ ИЗРЕЗЫВАЮЩЕГО И РАСПИЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ



1. Транспортер
2. Валики
3. Маховик
4. Ножевой барабан
5. Шкиф
6. Лоток
7. Станина
8. Зубчатка,  
приводящая в  
действие шестерню



**В барабанных траворезках** (предыдущий слайд) ножи изогнутые с лезвиями, расположенными по винтовым линиям с углом подъема до  $30^\circ$ .

Сырье подается по лотку-транспортеру 1, в конце которого установлены питающие валики 2, подающие сырье к ножевому барабану 4.

Изрезанное сырье выгружается по лотку 6.

Установка смонтирована на станине 7 и приводится в действие от электромотора при помощи шкива 5.

На одном валу со шкивом посажена зубчатка, приводящая в действие большую шестерню 8, вращающую питательные валики.

С другой стороны на валу посажен маховик 3 для обеспечения плавности работы траворезки. Число оборотов ножевого барабана 400 в минуту.

Производительность, например, при резке сухой травы 300 кг/ч.

# Корнерезка с ГИЛЬОТИННЫМИ НОЖАМИ

1 — лоток

2 — подающие валы

3 — шкив

4 — кривошип

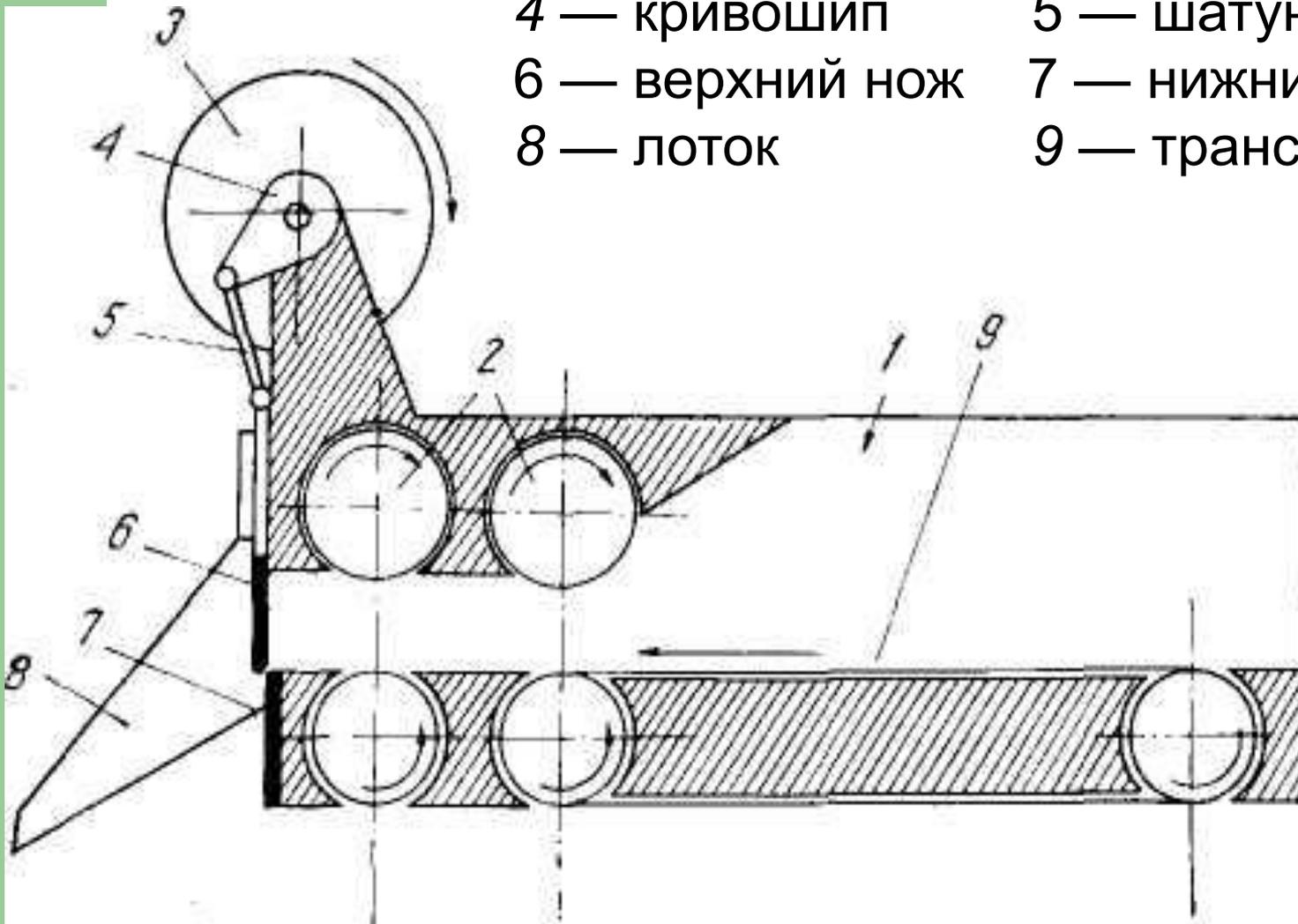
5 — шатун

6 — верхний нож

7 — нижний нож

8 — лоток

9 — транспортер



## Корнерезки с гильотинными ножами

Для изрезывания плотных и деревянистых частей растений (корни, корневища, кора) чаще всего применяются корнерезки с гильотинными ножами.

Нож в этой машине весьма массивный, и, падая вниз, своей массой усиливает режущий эффект.

Нож совершает поступательно-возвратное движение вверх и вниз при помощи кривошипного механизма или коленчатого вала.

В описанных траво- и корнерезках движение ленточного транспортера, питающих валиков и ножей происходит согласованно, так что растительная масса выступает вперед на определенную длину в соответствии с заданной степенью измельчения.

Что касается травы и некоторых корней, то, поскольку они хрупкие, при падении на них ножа выступающие участки могут обламываться. В результате этого получается значительное количество кусочков меньшего размера.

## **ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ РАЗДАВЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ.**

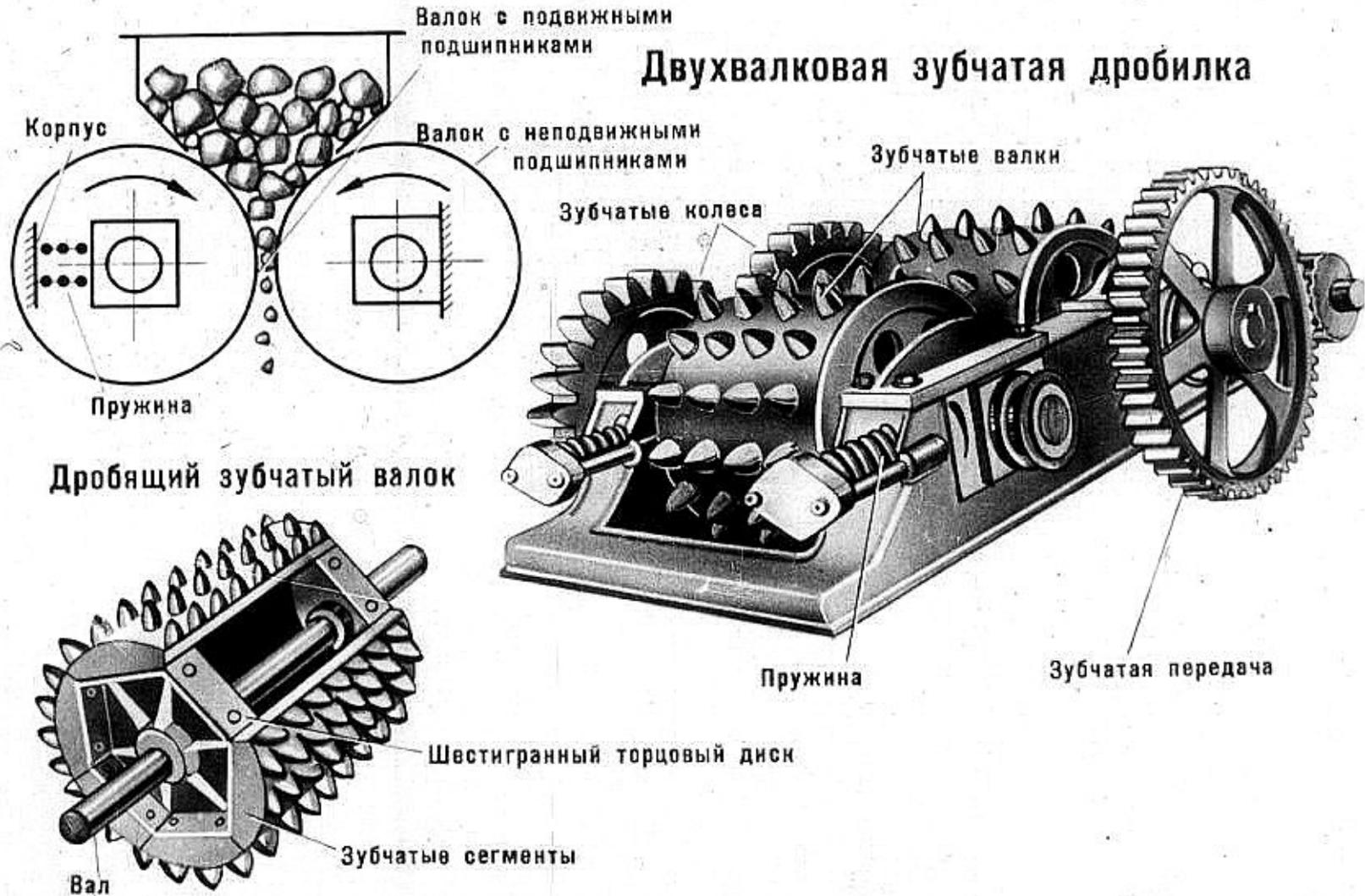
Гладковалковые дробилки (вальцовые мельницы). По своему устройству гладковалковые дробилки отличаются от зубовалковых отсутствием зубьев на валках.

Обычно валки имеют одинаковое число оборотов, но есть конструкции, в которых валкам придают разные окружные скорости. В результате к раздавливающему действию валков присоединяется еще истирание. Непрерывная и равномерная подача сырья достигается с помощью загрузочных воронок, длина которых одинакова с длиной валка и питающих валков, вращающихся со скоростью, близкой к окружной скорости валков.

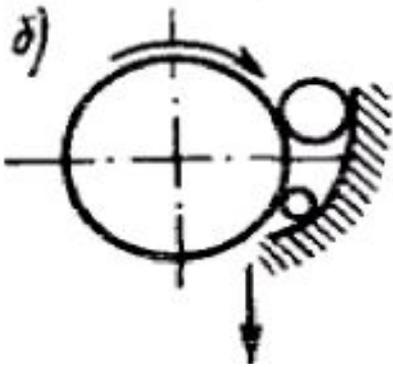
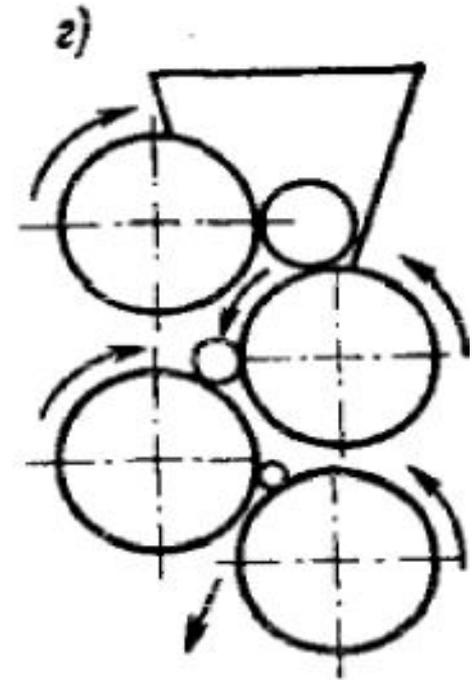
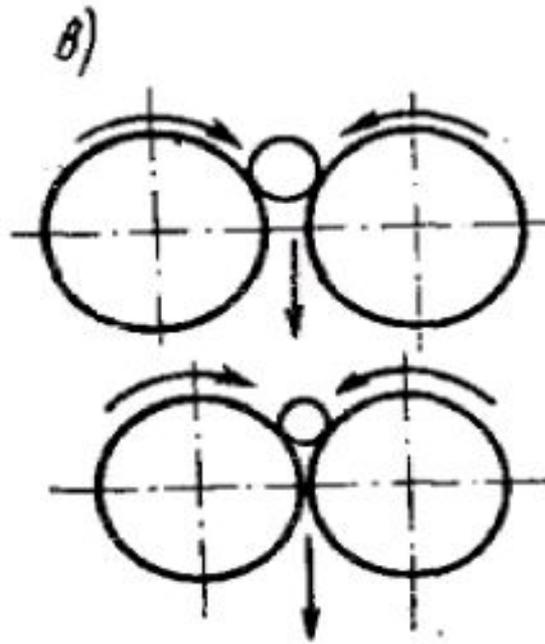
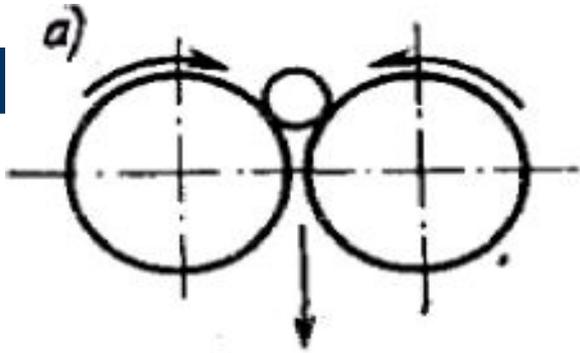
Гладковалковые дробилки могут иметь одну или две пары валков. Между первой и второй парами валков установлено вибросито. На вторую пару валков поступает сырье, предварительно измельченное на первой паре валков.

Поверхность валков может быть как гладкая, так и нарезная (рифлёная); в последних истирающая способность выше, чем в гладких.

# Валковые дробилки

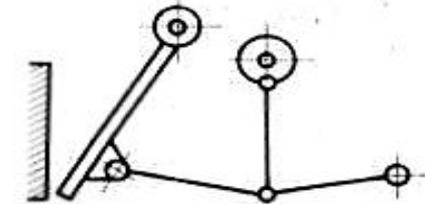


# Схемы расположения валков

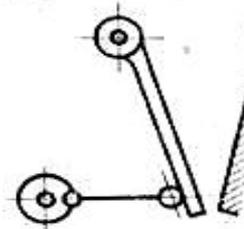


# Щековые дробилки

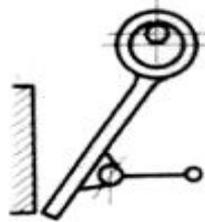
Кинематические схемы щековых дробилок:



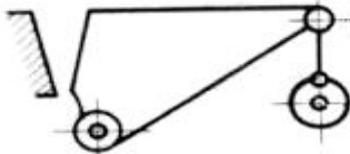
с верхним подвесом щеки и вертикальным шатуном



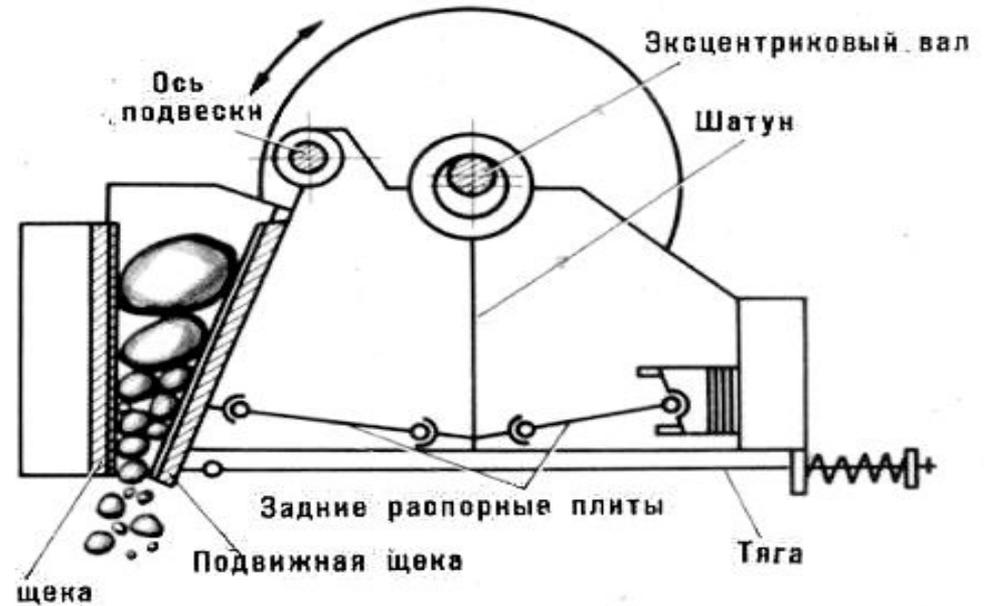
с верхним подвесом щеки и горизонтальным шатуном



с верхним подвесом и сложным качанием щеки



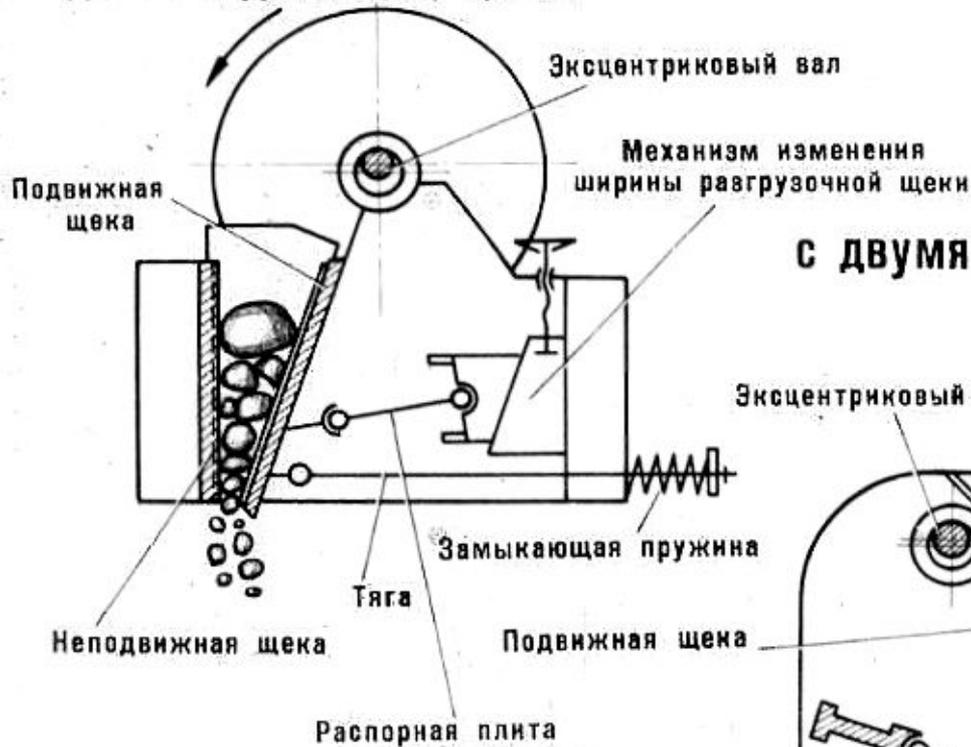
с нижним подвесом щеки



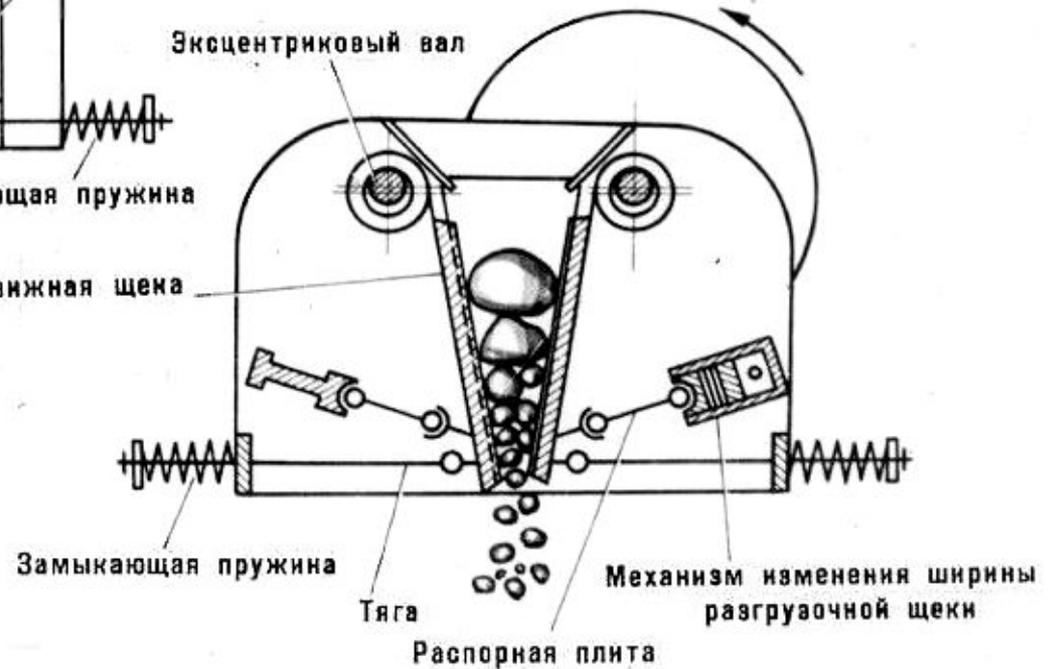
Осью подвеса служит коленчатый вал.

# Дробилки со сложным движением щеки

с одной подвижной щекой

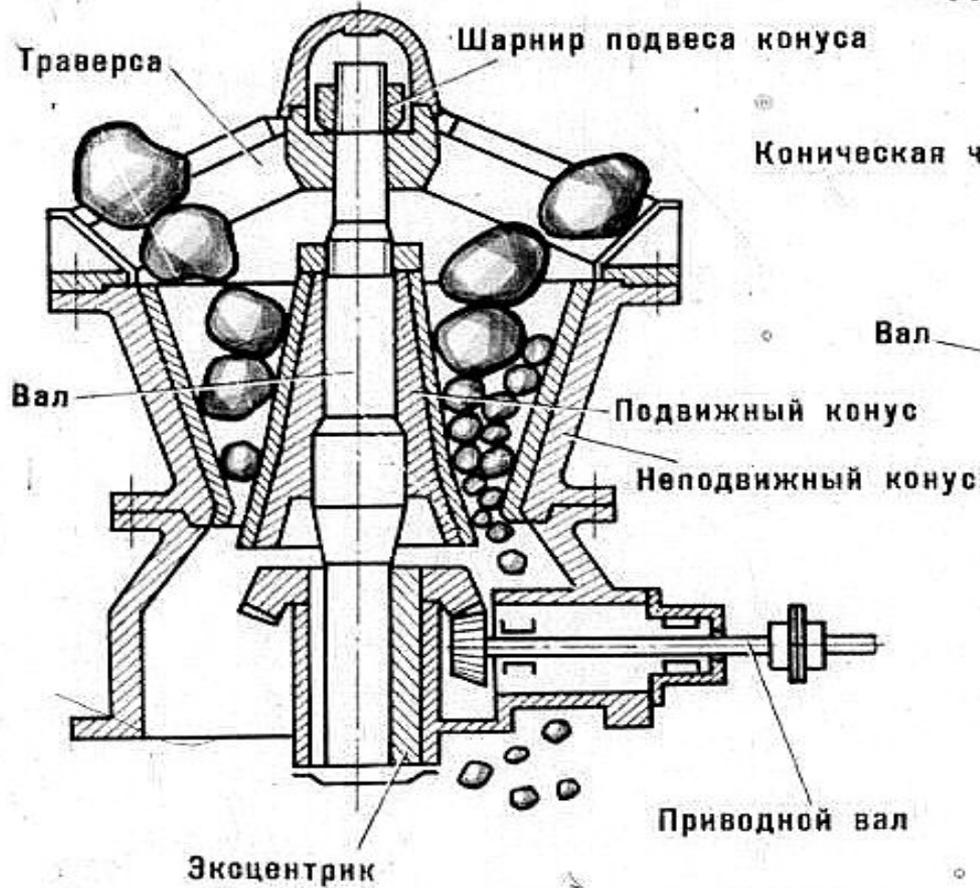


с двумя подвижными щеками

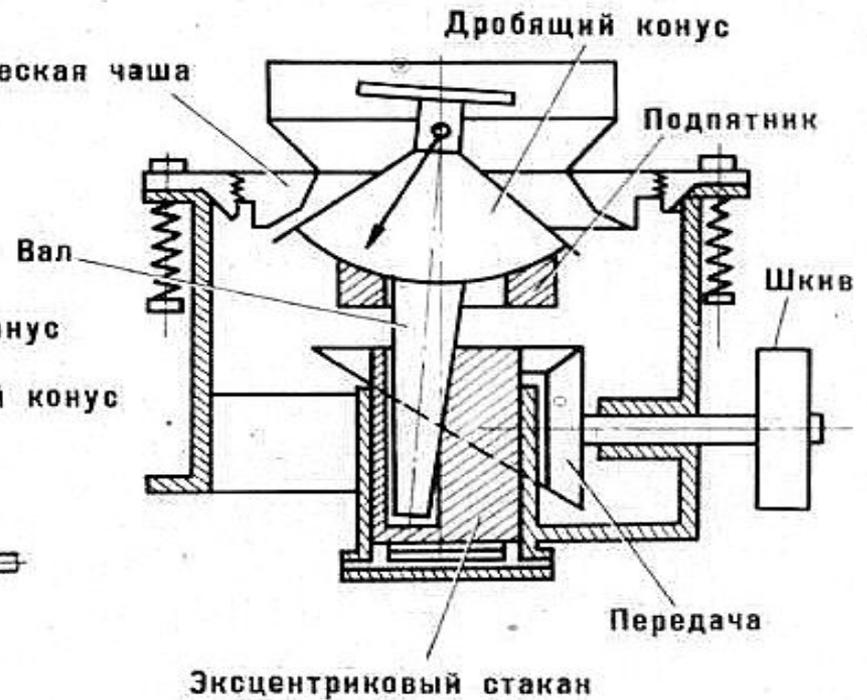


# Конусные дробилки

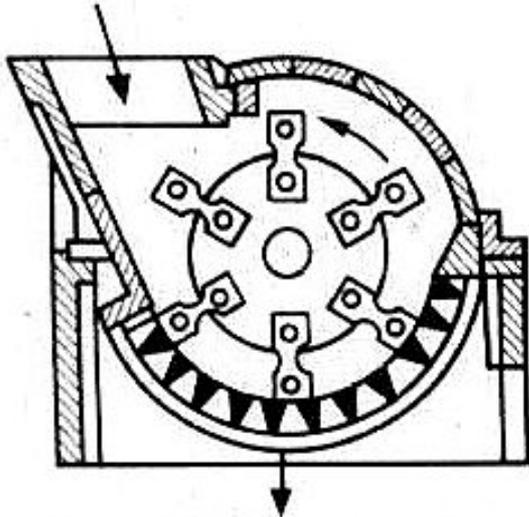
крупного дробления



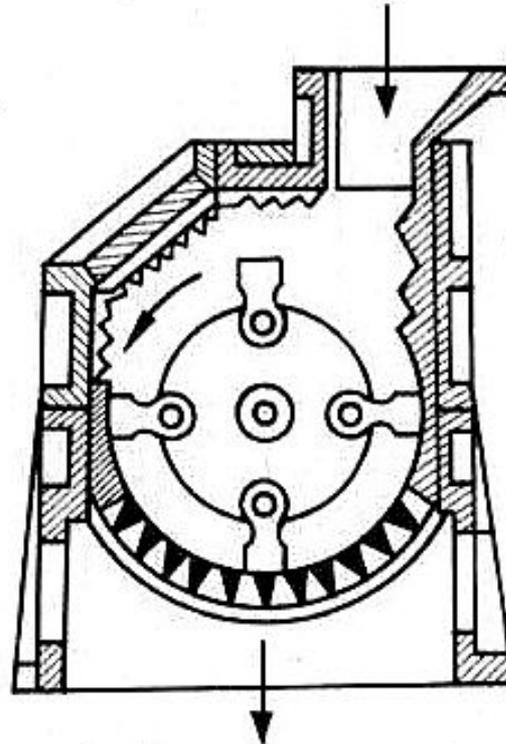
среднего дробления с валом,  
подвешенным на сферическом  
подпятнике



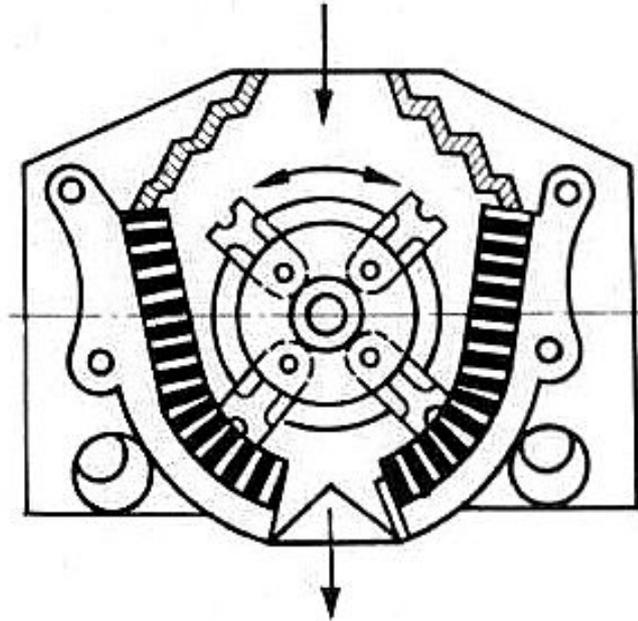
# Типы молотковых дробилок



Дробимый материал подводится по касательной к окружности, описываемой молотками, в направлении вращения.



Дробимый материал подводится по касательной навстречу вращающемуся молоткам.



Дробимый материал подводится по вертикальной оси ротора.

# ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

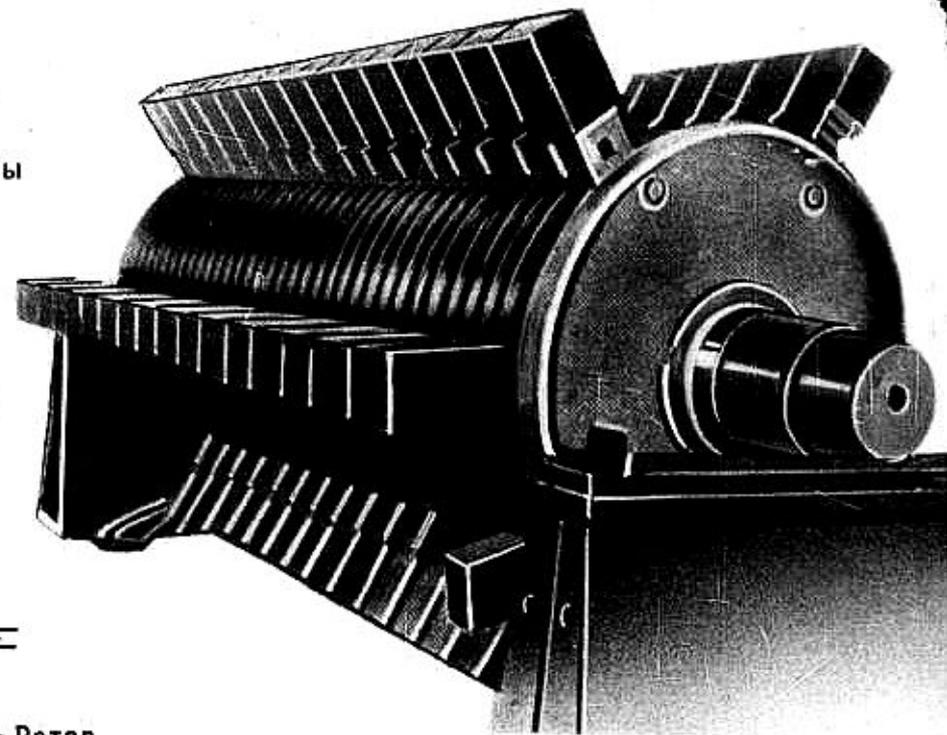
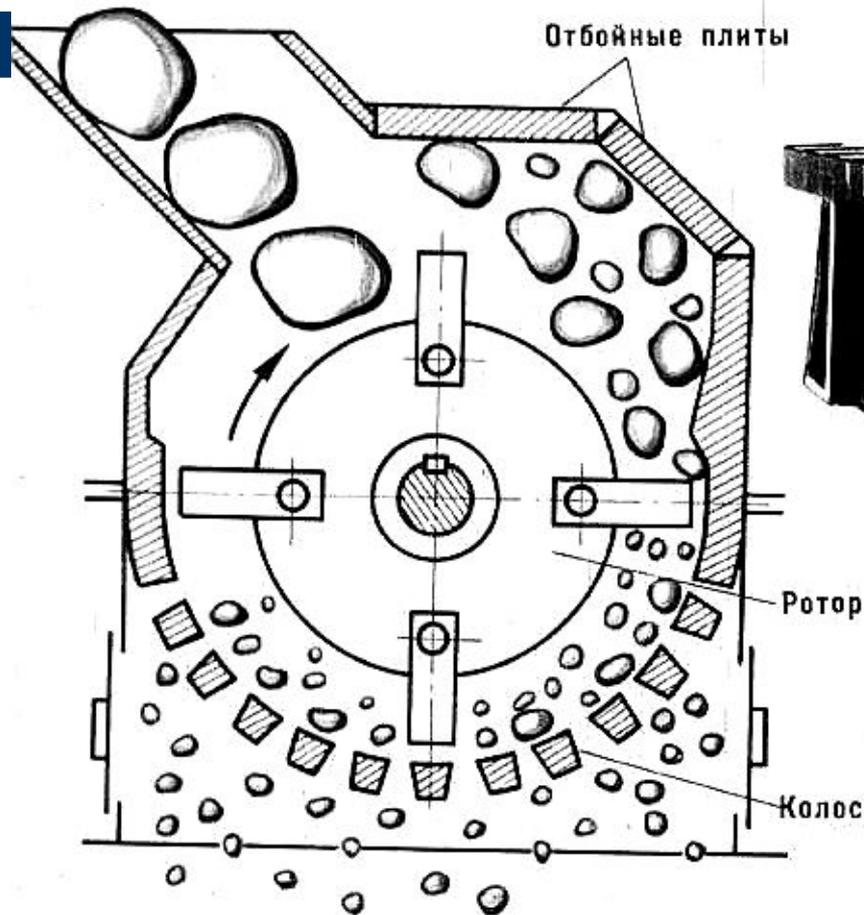
К измельчителям ударного типа относятся молотковые мельницы, дезинтеграторы, дисмембраторы и струйные мельницы.

## Молотковые мельницы

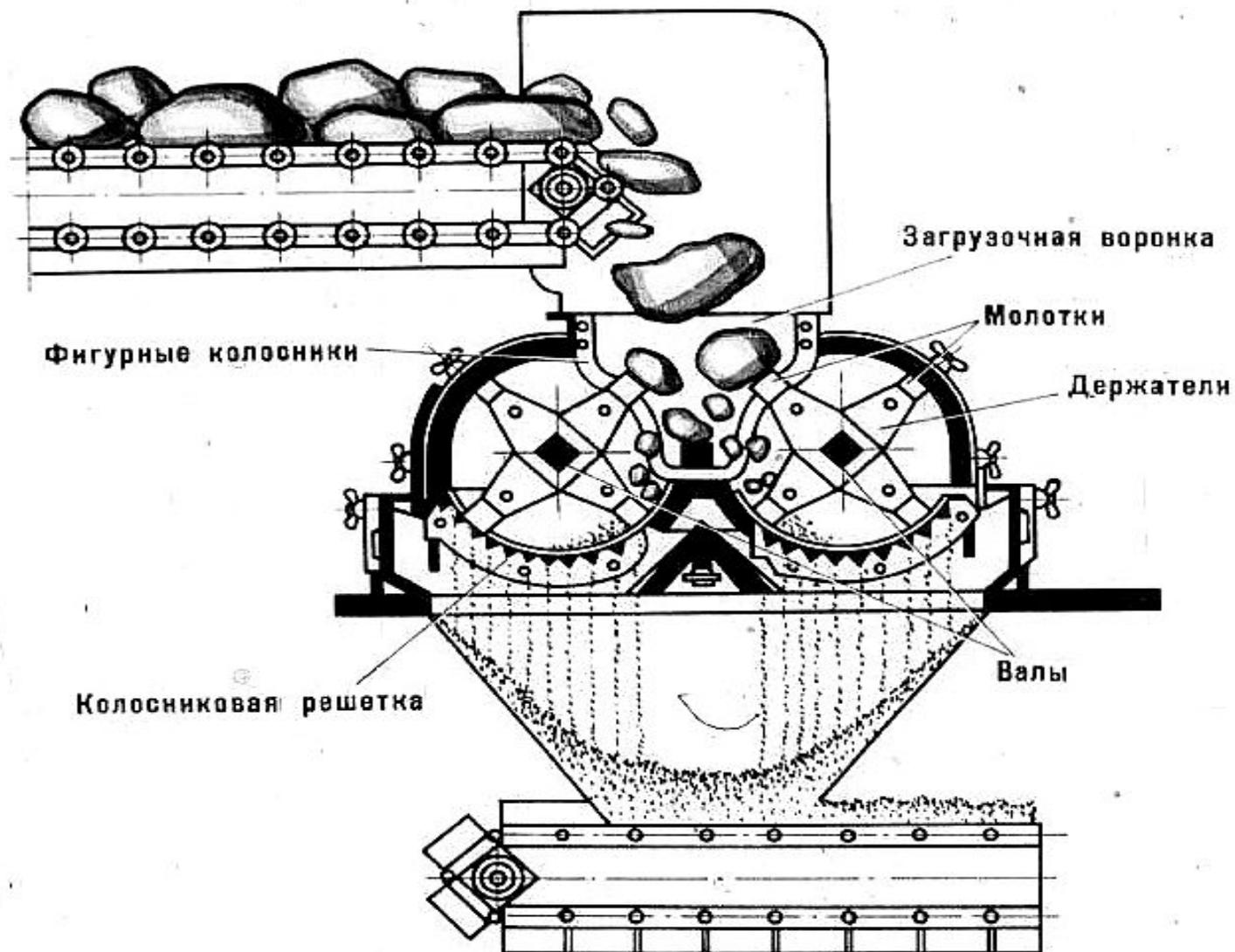
В этих мельницах (предыдущий слайд) на центральном валу ротора укреплено несколько дисков один возле другого. На этих дисках висят на шарнирах молотки, представляющие стальные плитки. Ротор с молотками вращается в массивном корпусе, стенки которого защищены. Дно корпуса представляет собой решетку (сито). Вследствие большой скорости вращения ротора (500—1500 об/мин) и развиваемой центробежной силы молотки отбрасываются по радиусу. Поступающий через загрузочную воронку материал попадает под действие этих молотков, куски его отбрасываются на стенки корпуса, на решетку, ударяются друг о друга и, достигнув определенного размера, проходят через решетку. Область применения молотковых мельниц обширна. В химической и фармацевтической промышленности применяются для измельчения хрупких материалов

# Однороторная молотковая дробилка

Молотковая дробилка

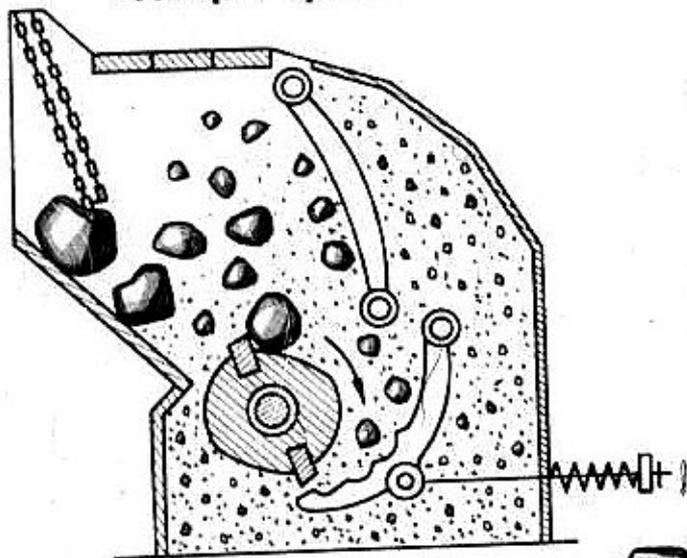


# Двухроторная молотковая дробилка

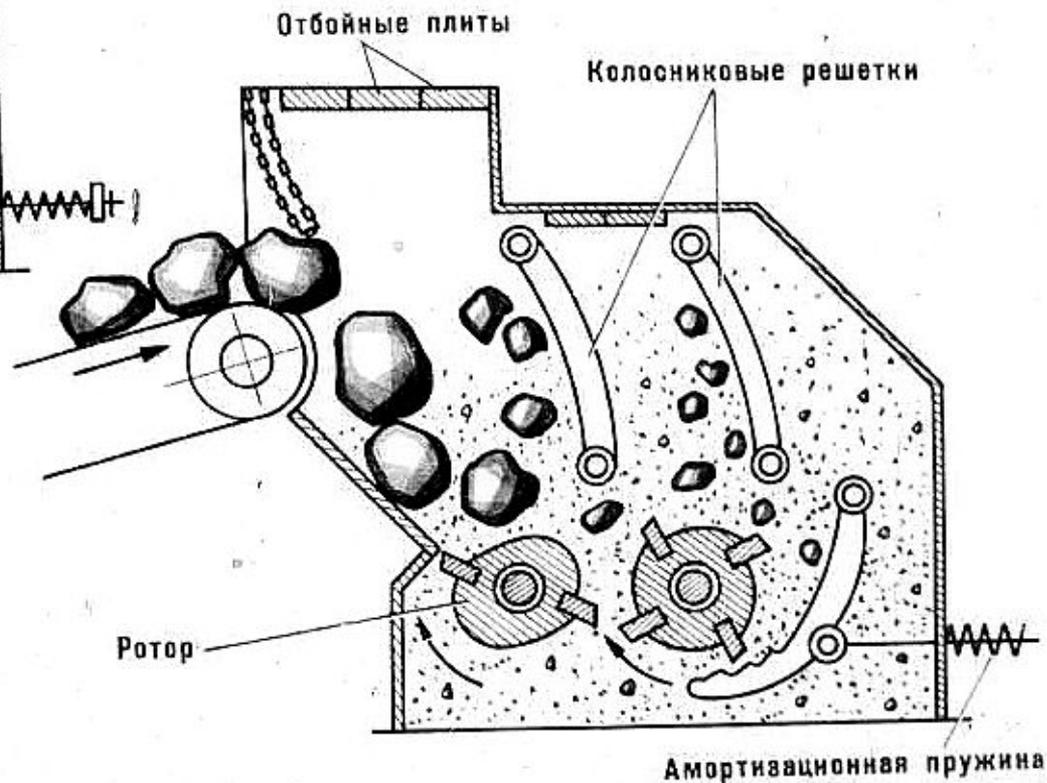


# Ударно-метательные дробилки

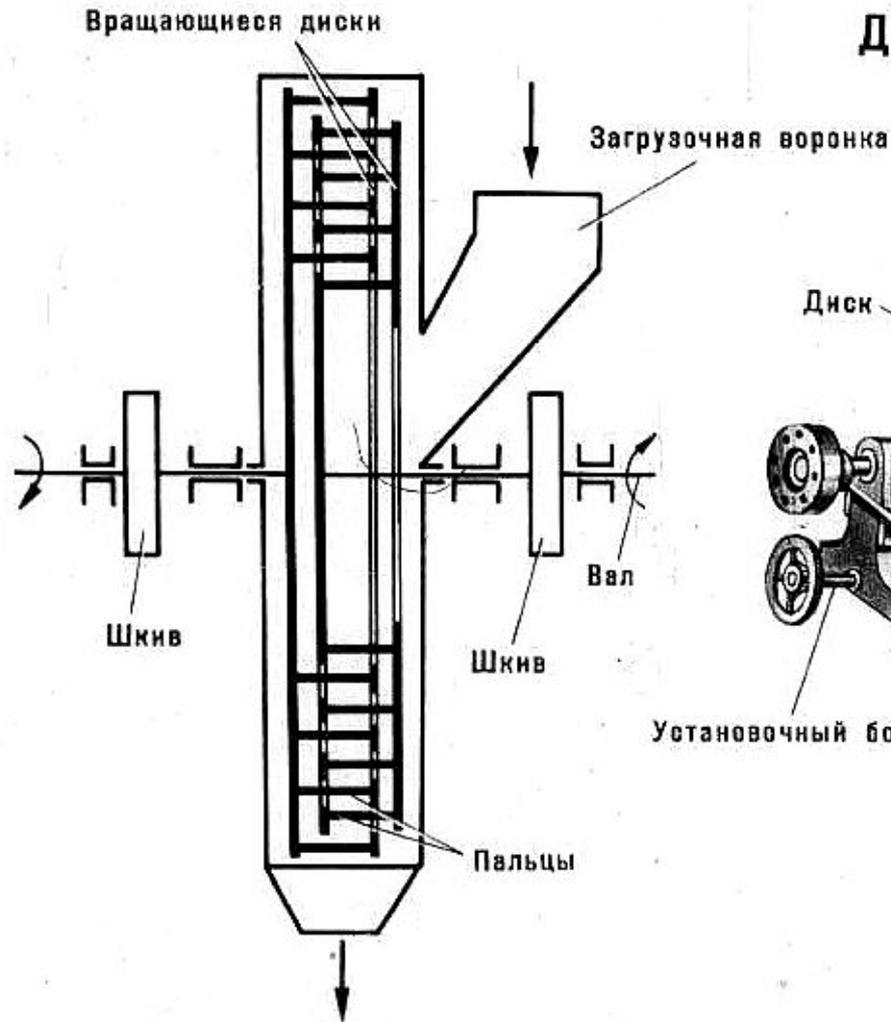
однороторная



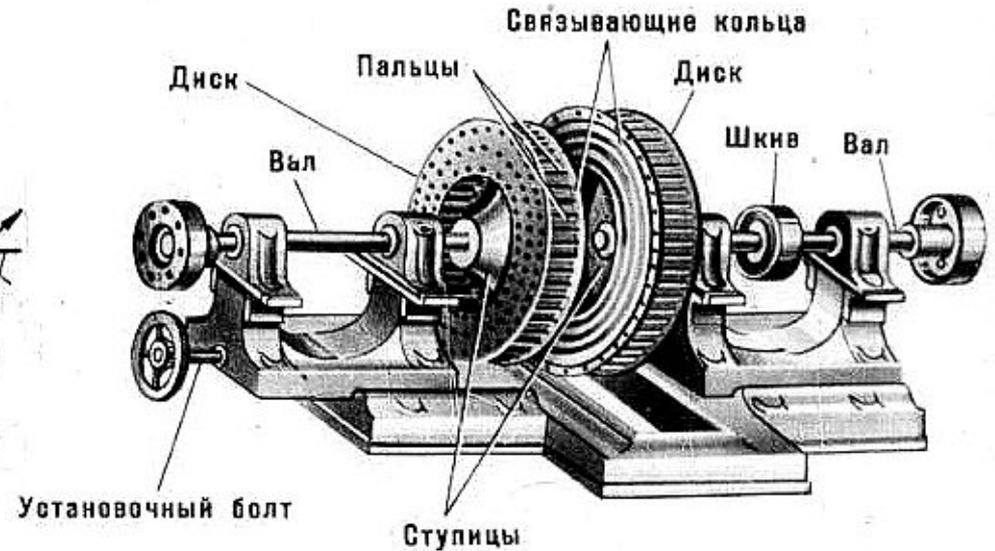
двухроторная



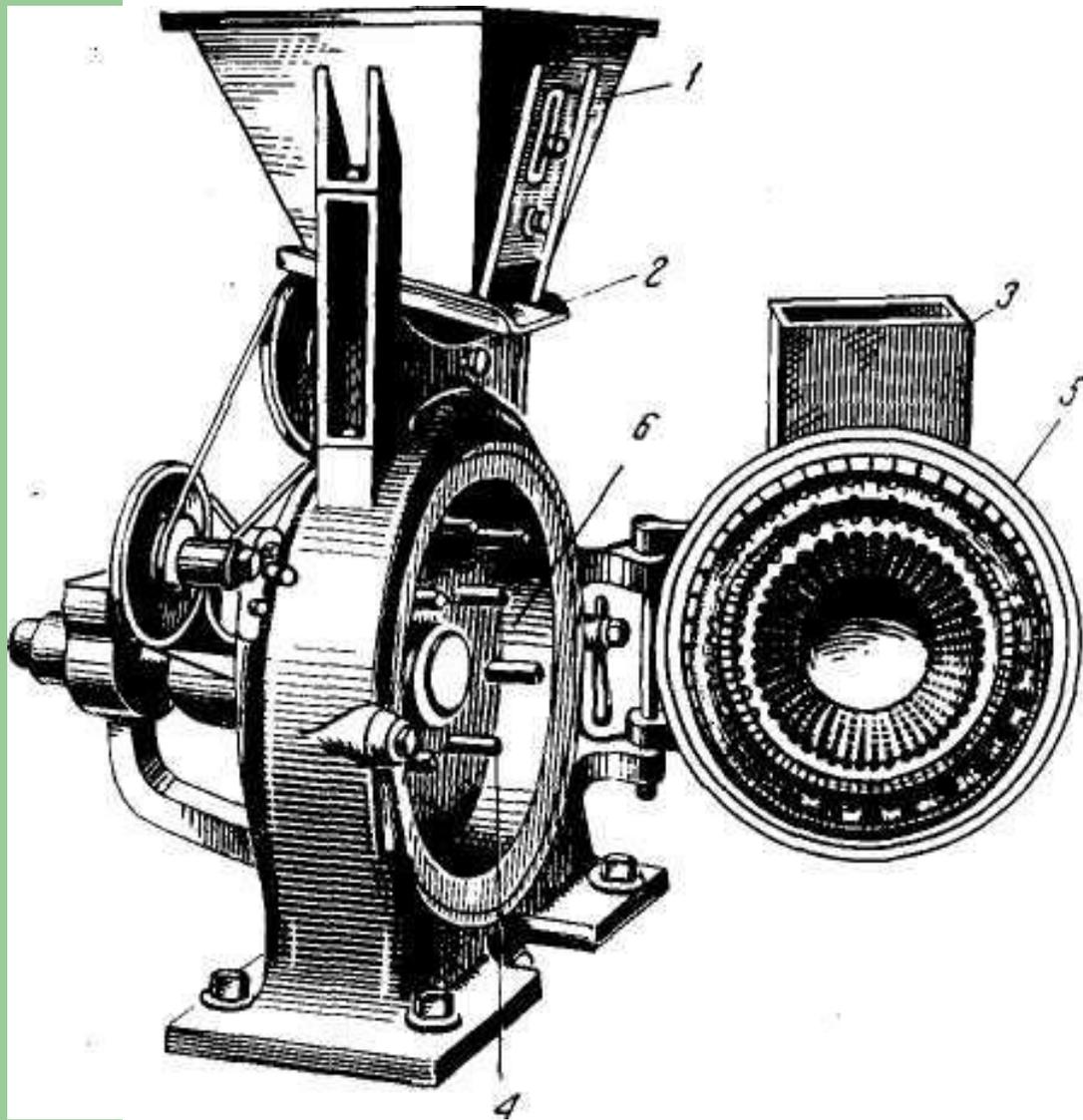
# Ударно-центробежные дробилки



## Дезинтеграторы



# дисмембраторы



1 — загрузочная  
воронка

2 — лоток

3 — воронка

4 — штифты

5 — неподвижный диск

6 — подвижный диск

## Дезинтеграторы и дисмембраторы

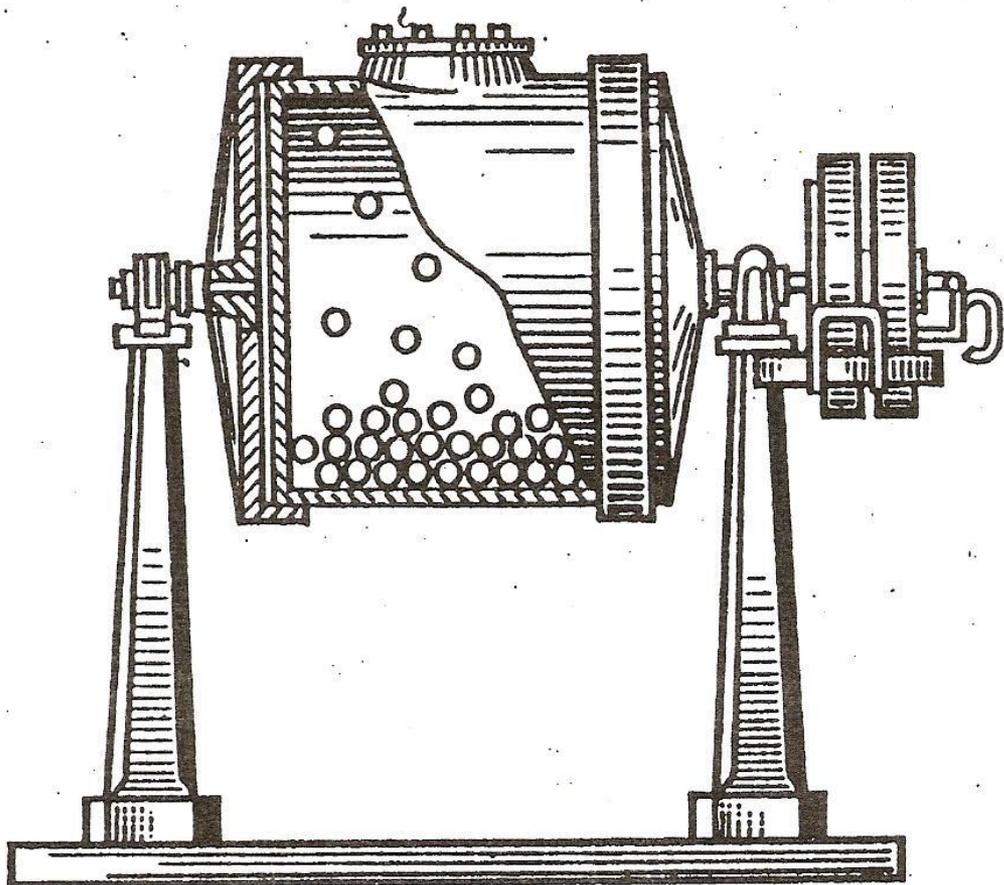
Для измельчения хрупких материалов удобны мельницы ударно-центробежного действия, называемые дезинтеграторами и дисмембраторами. Измельчение в них основано на принципе свободного удара. У дезинтеграторов вращаются оба диска, причем в противоположных направлениях, со скоростью в зависимости от размера дисков 500—900 об/мин.

Оба диска несут на своей поверхности ударные приспособления в виде пальцев, штифтов (штифтовая мельница), расположенных в 2—4 ряда кольцами. Диски поставлены один против другого так, что пальцы одного диска входят в свободное пространство между пальцами второго диска. Материал подается из загрузочной воронки в центр между дисками и при вращении их центробежной силой отбрасывается к периферии.

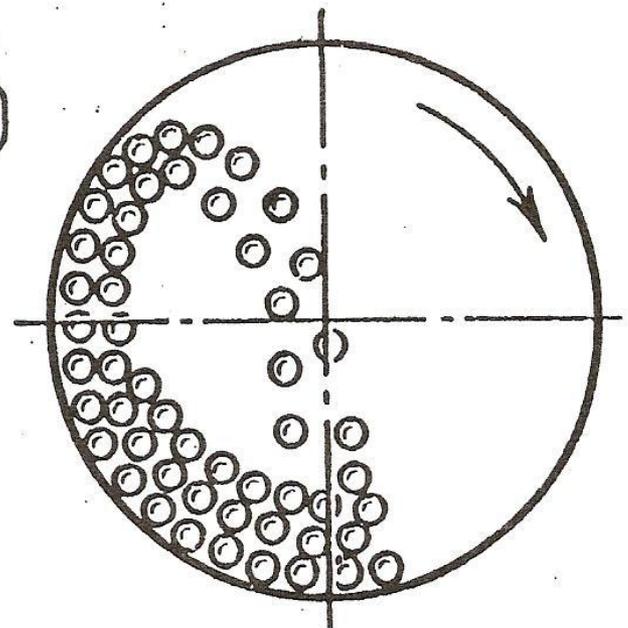
При этом частицы подвергаются ударам о пальцы, поверхность дисков, испытывают взаимные удары и, по достижении необходимой степени измельчения, высыпаются из мельницы.

Похожи на дезинтеграторы мельницы, называемые дисмембраторами. Они отличаются от первых тем, что наружный диск у них неподвижен.

В силу этого для достижения той же степени размола подвижный диск должен вращаться с большей скоростью (до 3800 об/мин).



а



б

Рис. 7.7. Шаровая мельница.  
а — общий вид; б — схема работы.

# ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ УДАРНО-ИСТИРАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

На смешанном принципе удара (преобладающее действие) и истирания работают широко применяемые барабанные (шаровые) мельницы и вибромельницы.

**Шаровые мельницы** (предыдущий слайд) представляют собой барабан, в который загружают материал и дробящие тела — шары. Барабан приводится во вращение. Под действием трения и центробежной силы шары и материал поднимаются до определенной высоты, откуда они падают вниз. В результате ударов и истирающего действия шаров материал измельчается. При вращении барабана поведение шара будет различно в зависимости от числа оборотов барабана.

При медленном вращении шар, прижимаясь к барабану под действием своей массы, силой трения будет увлекаться на небольшую высоту и оттуда падать по стенке барабана вниз. При быстром же вращении шар будет настолько сильно прижиматься центробежной силой к стенке барабана, что не сможет оторваться от нее и будет вращаться вместе с барабаном. Измельчения при этом происходить не будет. Нужно подобрать такую скорость вращения, чтобы под влиянием центробежной силы шар смог подняться на максимальную высоту, оторваться от стенки и ударить материал (рабочее число оборотов барабана должно быть меньше критического (75%))

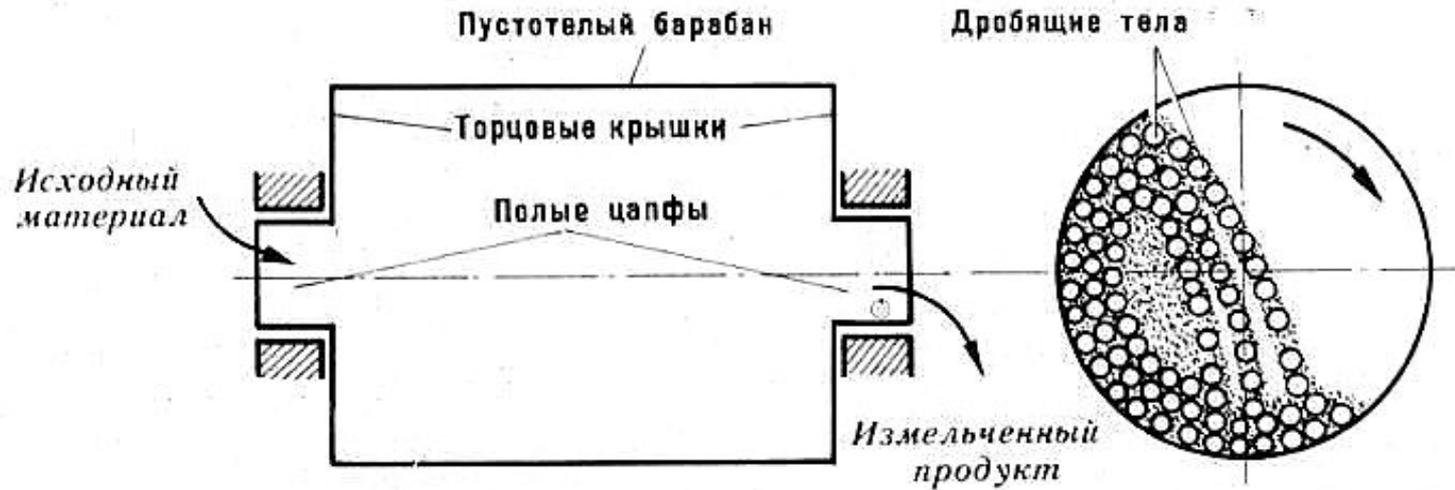
Оптимальное количество оборотов зависит от диаметра барабана. При излишне низком числе оборотов шары будут слишком рано отрываться от стенки, высота полета будет незначительна и сила удара шаров о материал невелика.

Загрузку мельницы необходимо производить шарами одинакового размера, так как иначе шары малого размера будут мешать работе больших шаров, поскольку они будут находиться между ними и материалом. Размер шаров зависит от состава и твердости материала. Обычно применяются шары диаметром 50—150 мм. Одновременно подбирается и оптимальное количество шаров, поскольку производительность мельницы зависит от числа и силы ударов шаров.

Производительность шаровой мельницы повышается с увеличением ее диаметра, который варьирует в пределах 800—2300 мм. Скорость вращения 20—40 об/мин. Барабаны мельниц делаются из железа, шары — из стали. Лабораторные мельницы фарфоровые. В шаровых мельницах можно получить порошки высокой степени измельчения.

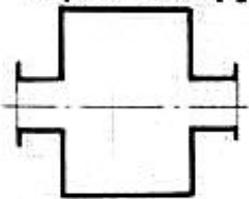
# Барабанные мельницы

## Принцип действия барабанной (шаровой) мельницы

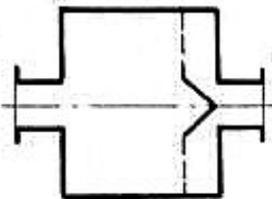


## Типы барабанных мельниц

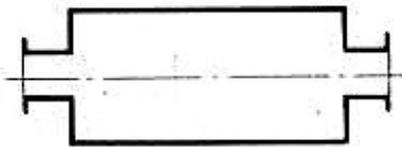
Короткая, с центральной разгрузкой через цапфу



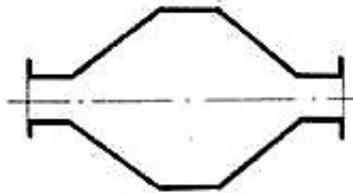
Короткая, с торцовой разгрузкой через диафрагму



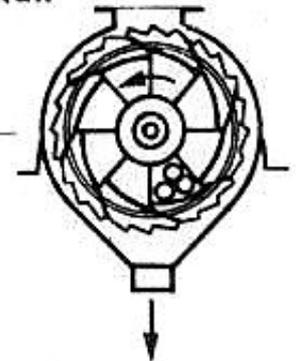
Трубная



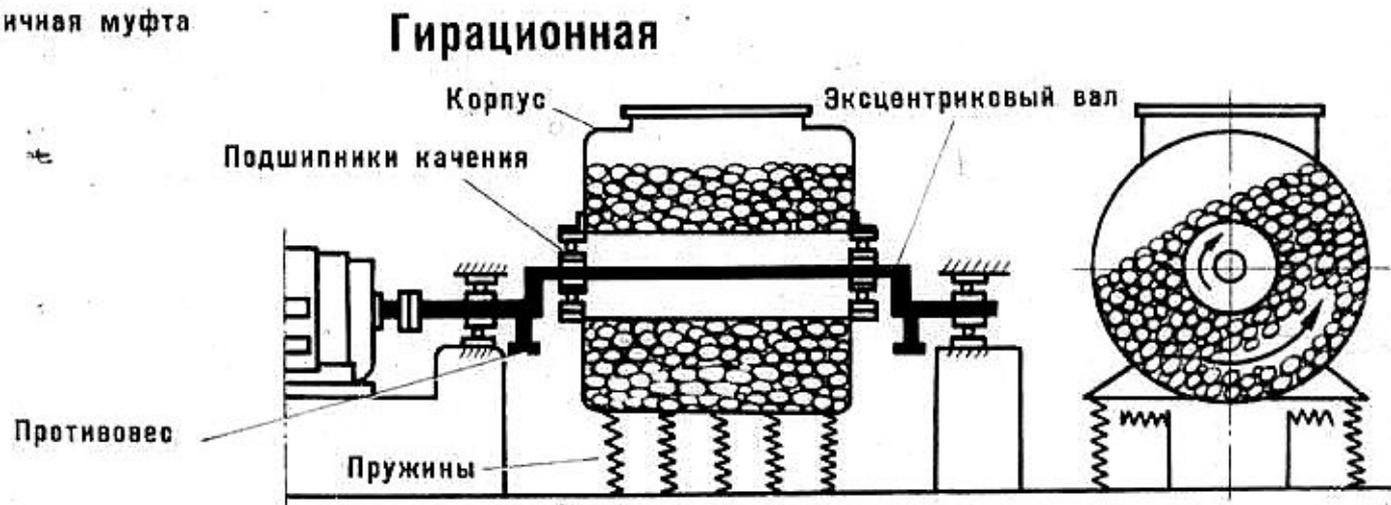
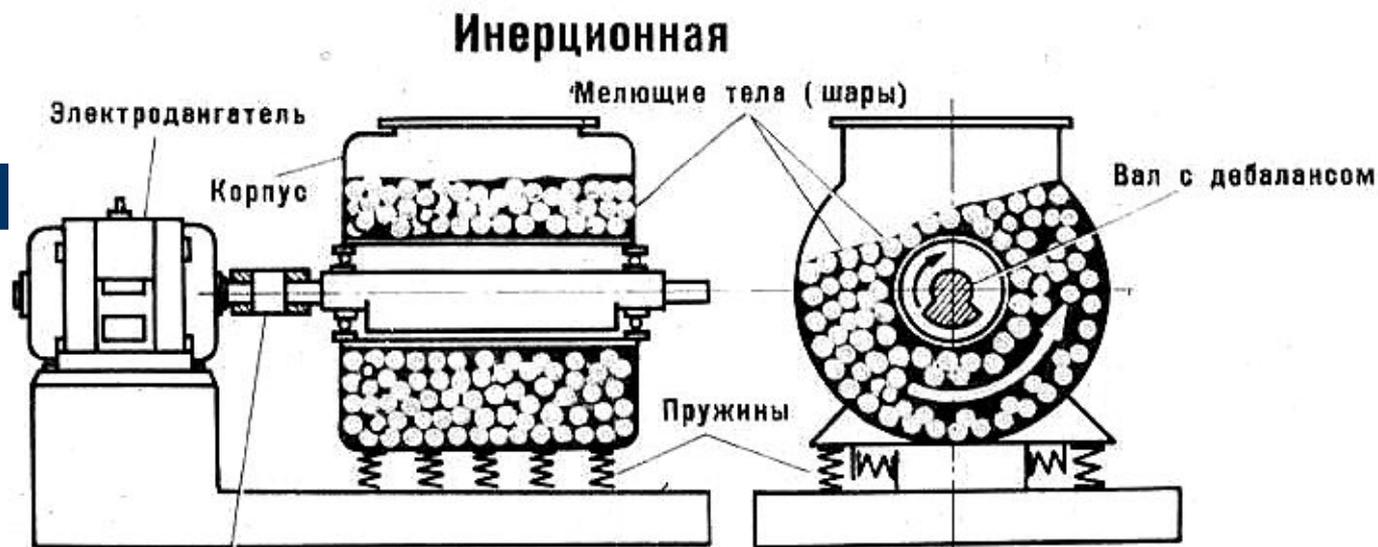
Цилиндро-коническая



С периферической разгрузкой через сита



# Вибрационные мельницы



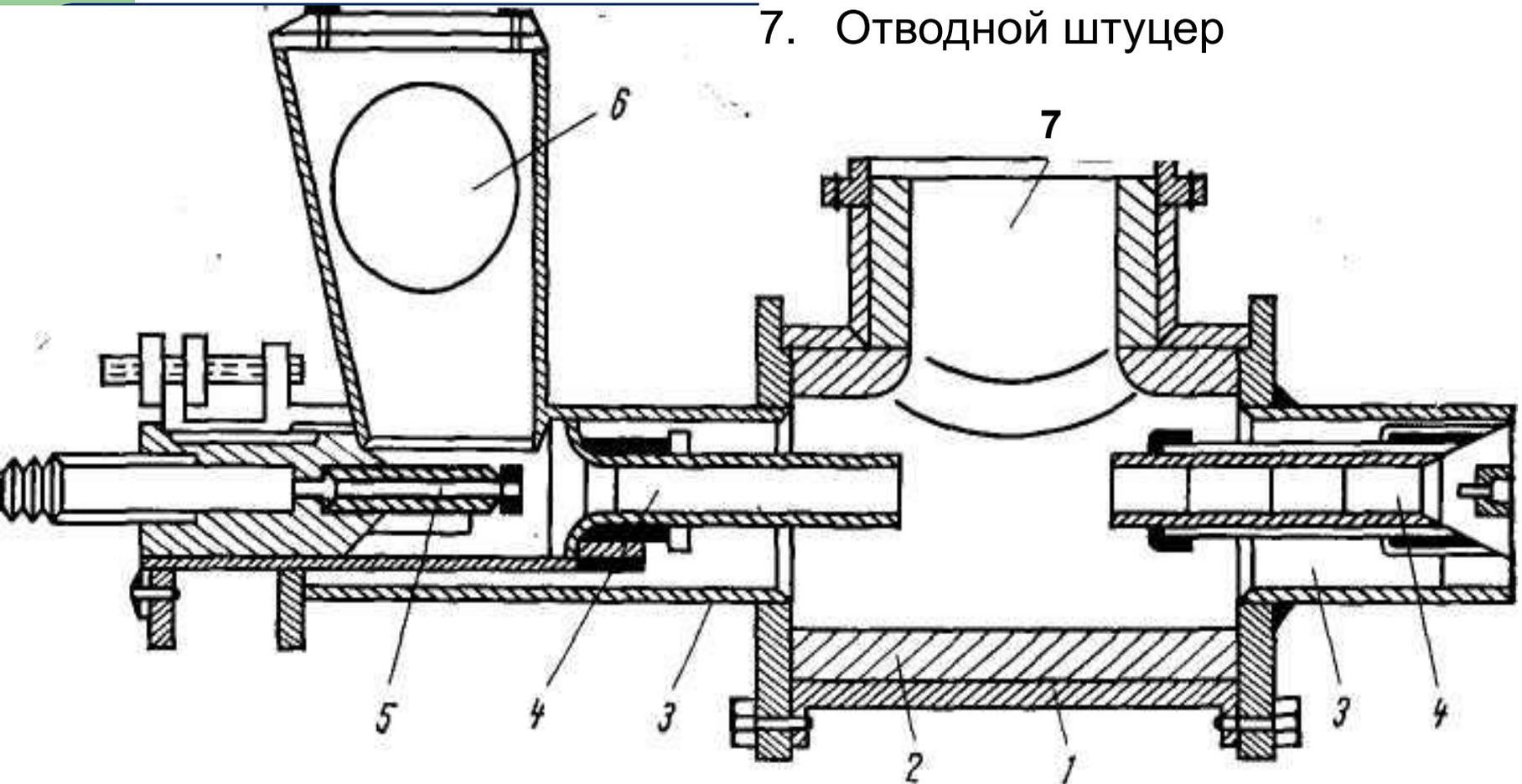
**Вибрационные мельницы** применяются для тонкого и сверхтонкого измельчения. Исходная крупность частиц 1—2 мм, окончательная степень мелкости может достигать 1—5 мкм. Частота колебаний мельницы составляет 1500—3000 в минуту и соответствует скорости вращения электродвигателя. Вибрационные мельницы подразделяются на инерционные и эксцентриковые (гирационные).

Большее распространение получили инерционные мельницы с дебалансным валом. При вращении этого вала корпус мельницы вибрирует, передавая колебание шарам. Измельчение находящегося в корпусе материала происходит за счет соударения колеблющихся шаров и их взаимного перемещения.

**Вибрационная мельница инерционного типа** изображена на слайде. Корпус мельницы, в который помещаются шары и измельчающийся материал, опирается на пружины, закрепленные на раме, которая находится на резиновых амортизаторах. Внутри корпуса проходит труба, в которую помещен дебалансный вал, вращающийся в подшипниках со сферическими роликами. На этом же валу закреплены дополнительные дебалансы, с помощью которых регулируется частота колебаний. Вал получает вращение от электродвигателя. При вращении дебалансного вала корпус мельницы приводится в качательное движение по эллиптической, приближающейся к круговой траектории.

# Струйный измельчитель

1. Размольная камера
2. Защита
3. Штуцер питания (два)
4. Разгонные трубки
5. Сопла
6. Приемная воронка
7. Отводной штуцер



# Струйные измельчители

Измельчитель состоит из размольной камеры 1, защищенной внутри материалом 2, двух расположенных друг против друга штуцеров питания 3, в которые вмонтированы разгонные трубки 4 и сопло 5, приемной воронки 6 и отводного штуцера 7.

Материал, подлежащий измельчению, поступает через воронку 6 в приемник эжектора, откуда струей воздуха, выходящей из сопла 5, направляется в разгонную трубку 4. Там частицы приобретают необходимую скорость, с которой они вылетают из разгонной трубки навстречу потоку частиц, идущих из противоположной трубки. При соударении частицы измельчаются и через штуцер 7 выносятся на сепарацию, которая осуществляется с помощью фильтра, примыкающему к мельнице.

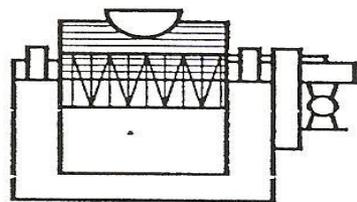
Струйные измельчители пригодны для измельчения частиц исходного сырья около 10 мм до частиц размером 50—80 мкм.

# Смешивание

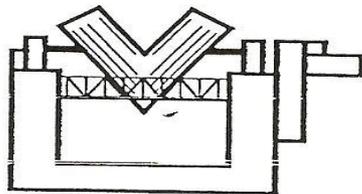
Процесс, при котором несколько раздельно находящихся порошкообразных компонентов после тщательного перемешивания и равномерного распределения каждого из них в смешиваемом объеме материала образуют однородную смесь.

## **Существуют следующие группы смесителей:**

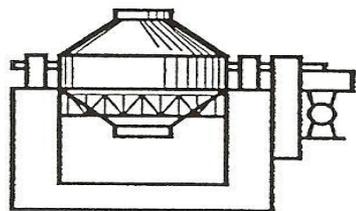
- с вращающимся корпусом
- с вращающимися лопастями
- циркуляционные
- с псевдооживлением сыпучего материала.



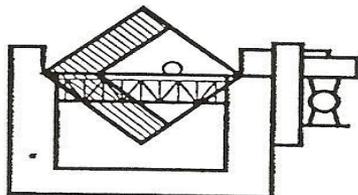
а



б

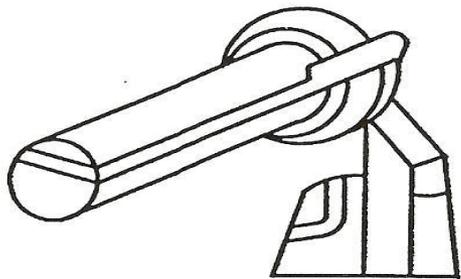


в



г

Смесители с вращающимся корпусом  
а- шаровая мельница;  
б- V-образный смеситель;  
в- двухконусный смеситель;  
г- кубический смеситель;  
д- турбула.



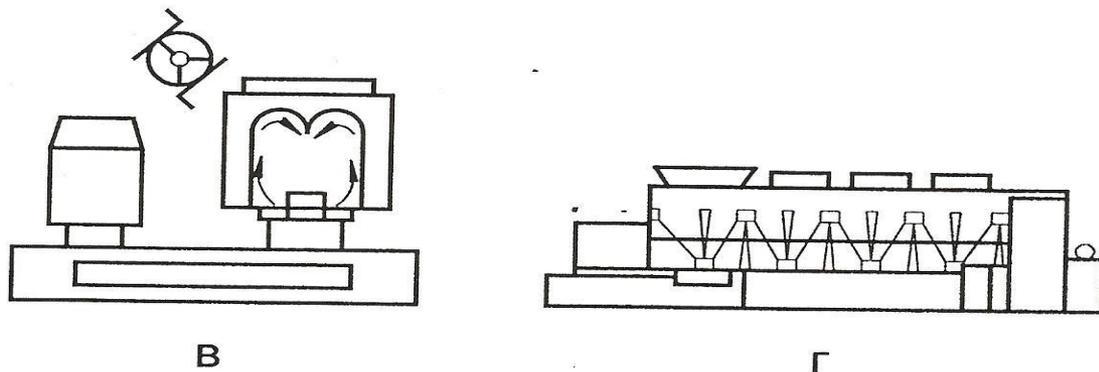
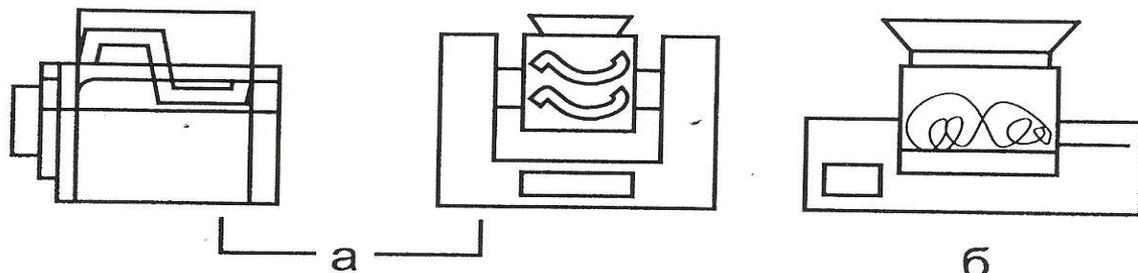
д

## Смесители с вращающимся корпусом.

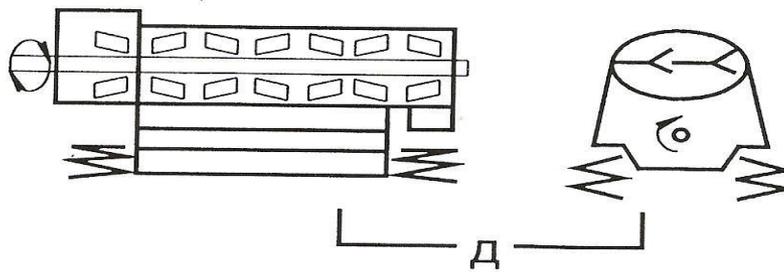
Барабанные смесители, представляющие собой цилиндрические, призматические и звездообразные камеры, вращающиеся вокруг горизонтальной оси, приводимой в движение при помощи электромотора.

Смесители периодического действия.

Смесители с вращающимися лопастными рабочими органами.



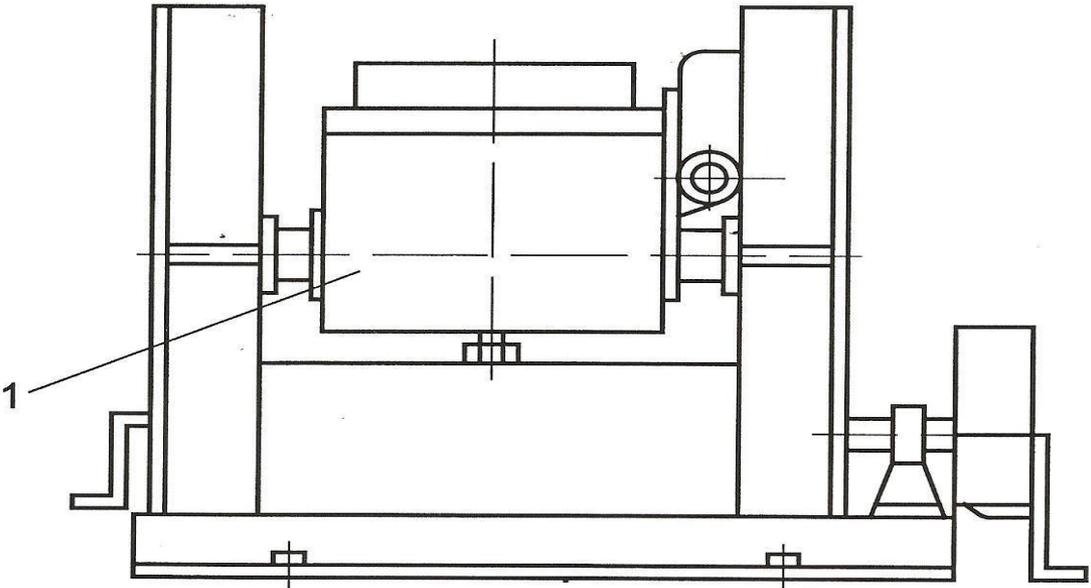
а- корытного типа с S- образными лопастями;  
б- с винтообразными лопастями;  
в- циркуляционный смеситель;  
г- шнековый;  
д- вибросмеситель.



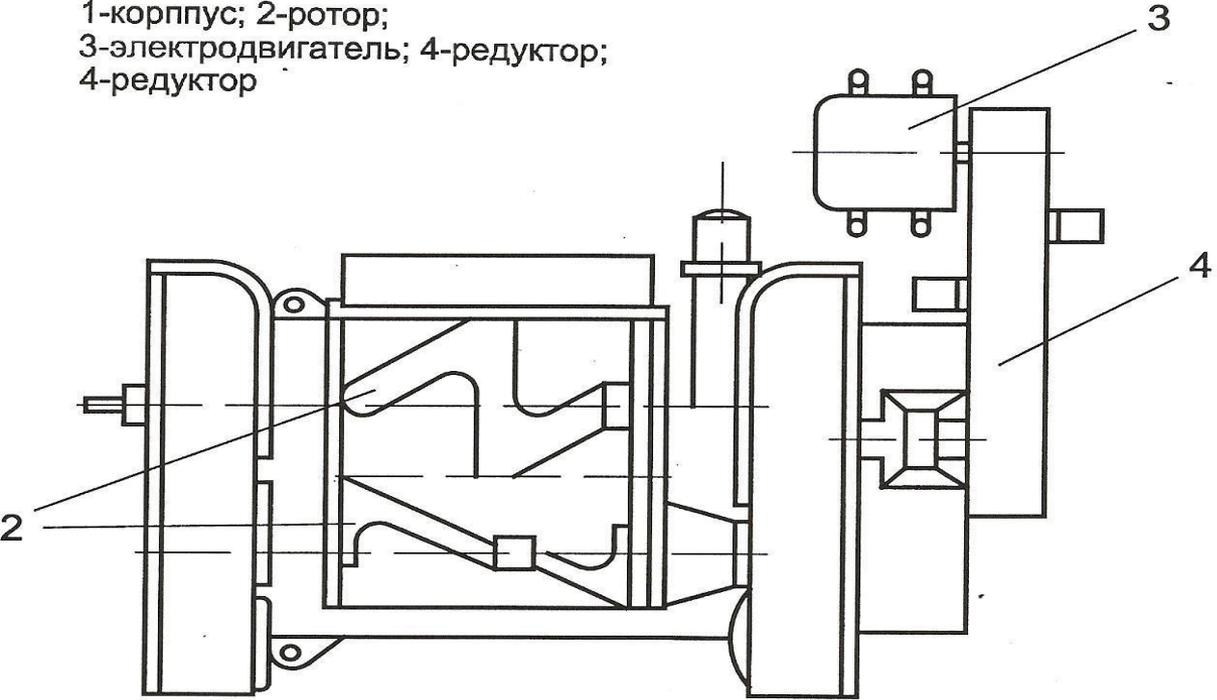
## Смесители с вращающимися лопастями

представляют собой емкость с закругленным дном.

Внутри емкости вращается вал, несущий сигмообразную изогнутую лопасть, вращающуюся с небольшой скоростью (до 50 об/мин).

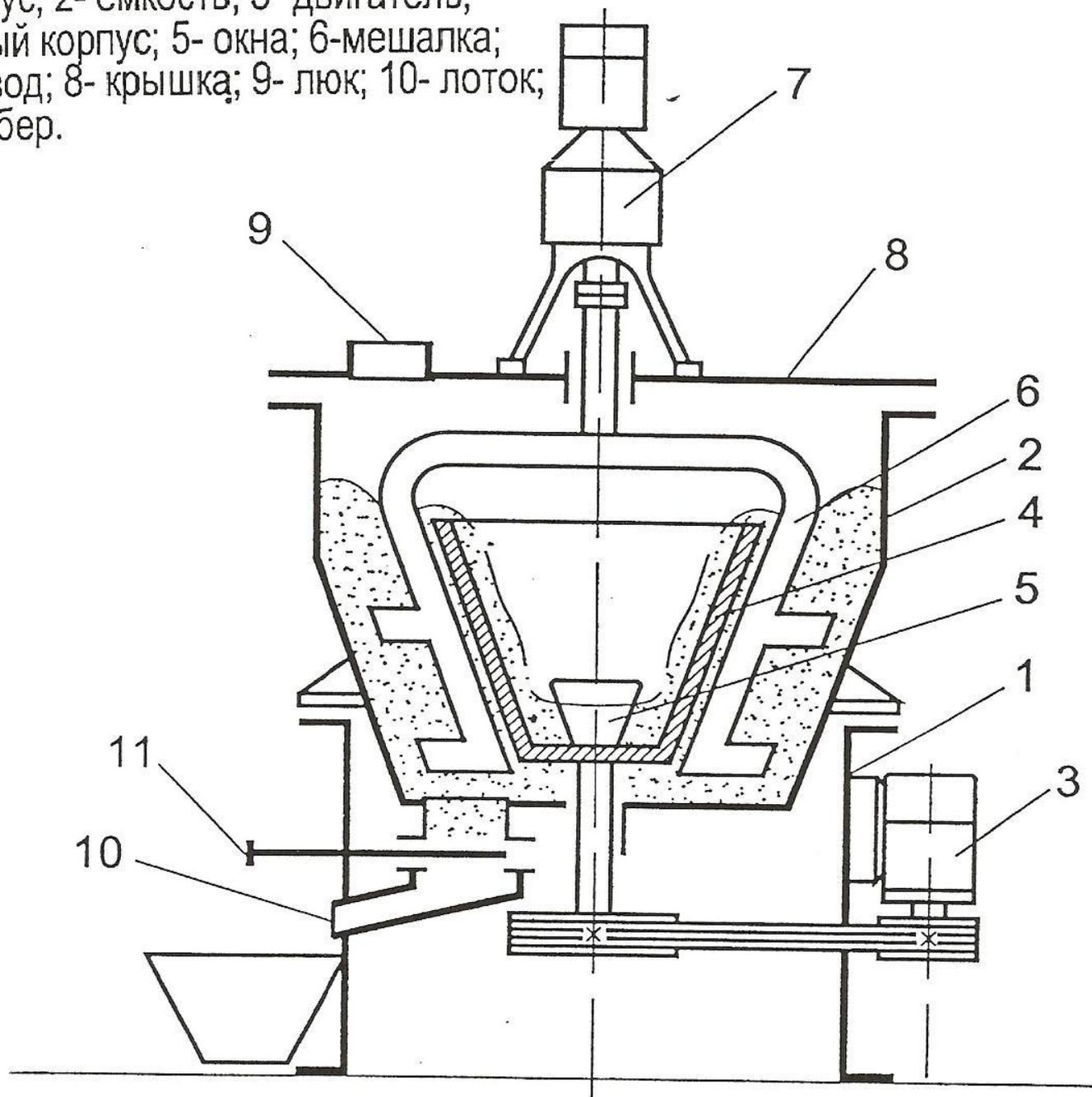


Устройство червячно-лопастного смесителя  
1-корпус; 2-ротор;  
3-электродвигатель; 4-редуктор;  
4-редуктор

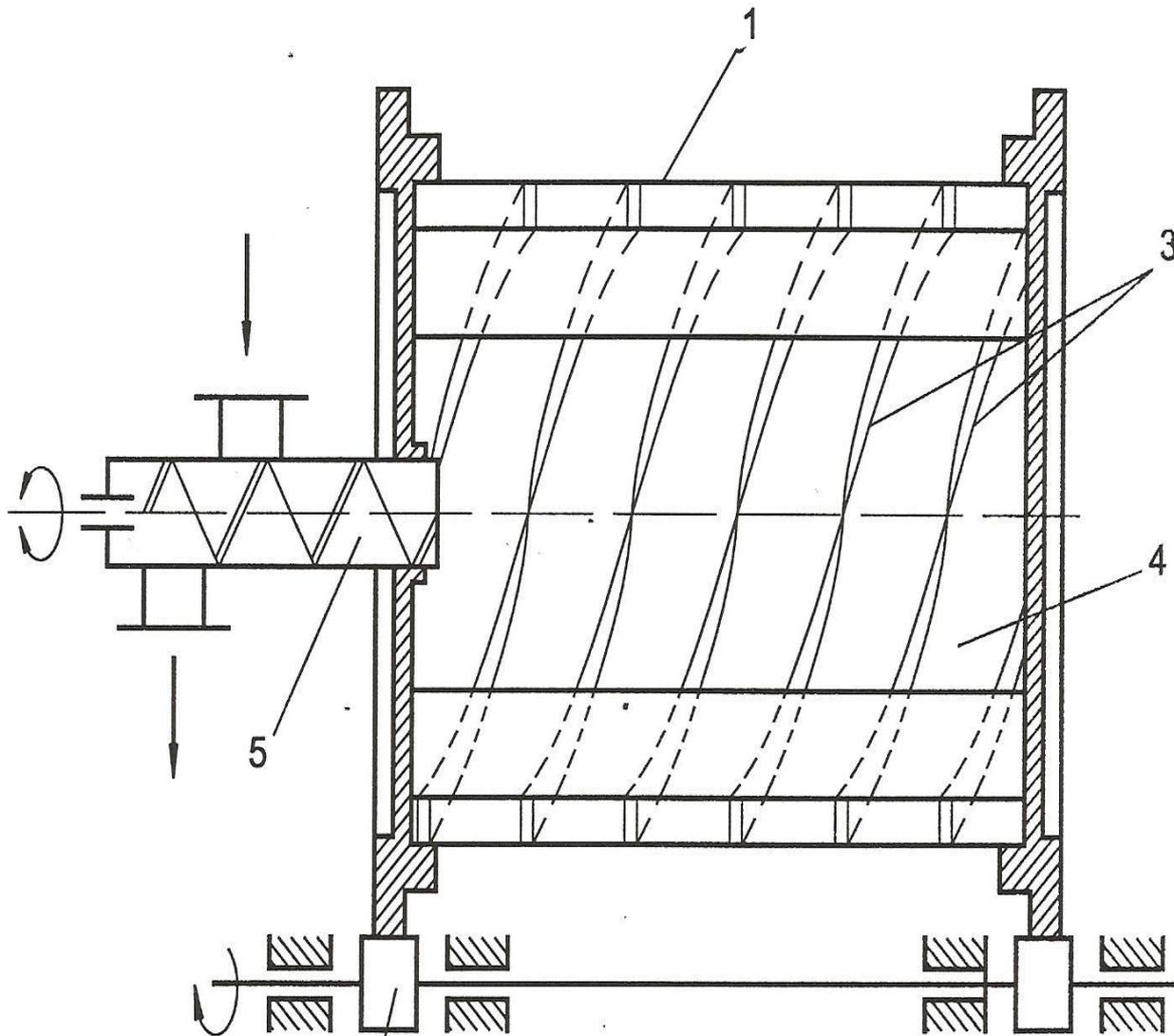


# Устройство смесителя центробежного действия.

- 1- корпус; 2- емкость; 3- двигатель;  
4- полый корпус; 5- окна; 6- мешалка;  
7- привод; 8- крышка; 9- люк;  
10- лоток; 11- шибер.



Для непрерывного смешивания сыпучих, пластичных и липких материалов применяют **одновальные и двухвальные шнековые смесители**



Устройство смесительного барабана.

- 1- цилиндрический корпус;
- 2- опорные рамки;
- 3- спиральные перегородки;
- 4- продольные полки;
- 5- шнек.

2

Материал -  
**высококачественная  
полированная сталь**



**Смеситель трехнаправленного действия**  
Предназначен для смешения сухих, сыпучих,  
порошкообразных или гранулированных  
материалов, а также для опудривания  
смесей для таблетирования.

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Благодаря сложной траектории перемещения материалов в емкости достигается безупречный результат смешения
- Однородность смешения материалов составляет более 99 %.
- Внешние и внутренние поверхности смесителя легко поддаются санитарной обработке
- Конструкция смесителя исключает возможность попадания смазки в материал.
- Возможно изменения частоты вращения смесителя
- Емкость смесителя имеет высокую прочность, исключается деформация и вибрация.
- Возможно смена емкости смесителя