

# ТЕМА 3. МАШИНЫ ДЛЯ ОТСЕВА, ДОЗИРОВАНИЯ И СМЕШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

1. Грохоты, назначение и конструкции
2. Питатели и дозаторы, назначение и конструкции
3. Барабанные смесители и окомкователи шихты

## 1. Грохоты, назначение и конструкции

Шихтовые материалы преимущественно рассеивают на:

- инерционных самоцентрирующихся грохотах (производительностью по исходному продукту до 600 т/ч);
- *плоскокачающихся* четырех-коробковых грохотах (до 400 т/ч).

Для грохочения агломерата используют:

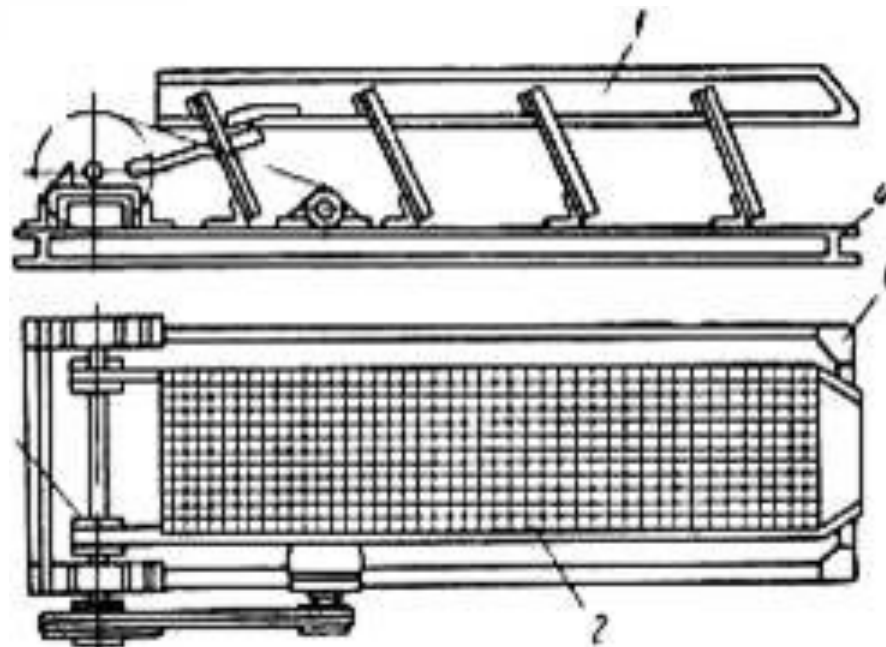
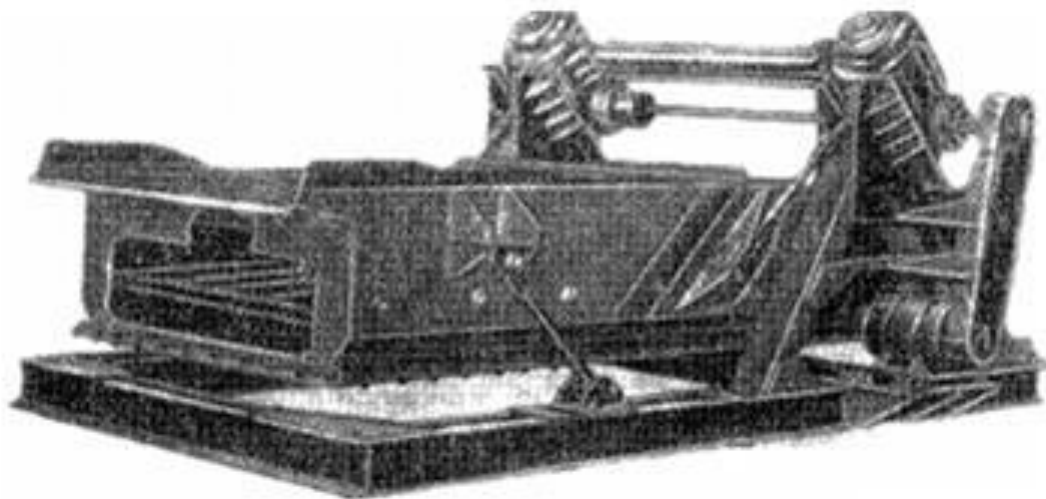
- *стационарные колосниковые* грохоты;
- *самобалансные* грохоты (опорные, подвесные и наклонные откатные).

Самобалансные грохоты более эффективны в работе, чем стационарные, так как их колосниковая решетка реже забивается кусочками агломерата.

# Инерционный грохот



# Плоскокачающийся грохот



## Колосниковый грохот

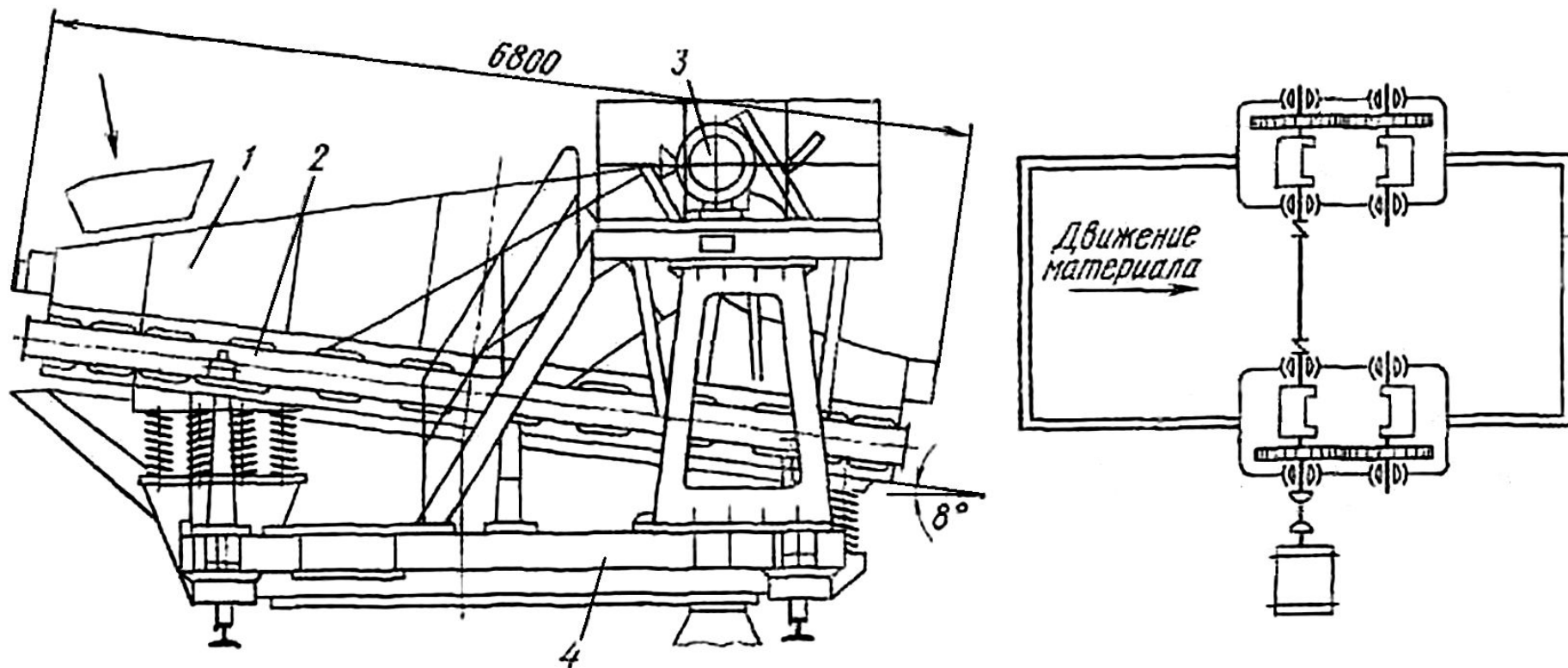


## Самобалансный грохот



# Самобалансный наклонный откатной грохот

Предназначен для отделения мелочи (размером менее 8 мм) горячего агломерата с размерами кусков 150 мм.



1 - сварной корпус; 2- колосниковая решетка; 3 - вибрационный привод;  
4 - опорная тележка



## Грохота доменных цехов

В доменных цехах применяют грохота различных типов и конструкций, отличающиеся кинематикой движения, типом привода, конструкцией решеток и др.

Для отсева коксовой мелочи применяют:

- электровибрационные;
- механические вибрационные:
  - гирационный (полувибрационный)
  - простой вибрационный;
  - самоцентрирующийся.

***Эффективностью грохочения*** называется выраженное в процентах или в долях единицы отношение фактической отсеянной мелкой фракции к содержанию этой фракции в исходном материале.

*Эффективность грохочения зависит* от продолжительности рассева и производительности (нагрузки) грохота. На процесс грохочения материала влияет также форма и размер отверстий просеивающей поверхности, режим работы грохота, зерновой состав, влажность и плотность материала.

Производительность грохота по подрешеточному продукту можно определить по формуле:

$$\Pi_{\text{ПР}} = \frac{\gamma_{\text{к}} - \beta_{\text{к}}}{\gamma_{\text{к}}(1 - \beta_{\text{к}})} \Pi,$$

где  $\Pi$  – производительность питателя, подающего материал на грохот;

$\gamma_{\text{к}}$  – содержание подрешеточного продукта в надрешеточном исходном материале (до грохочения);

$\beta_{\text{к}}$  – содержание подрешеточного продукта в надрешеточном конечном материале (после грохочения).

Расчет производительности грохотов с двумя и тремя ситами производят по наиболее загруженному сити.

Производительность вибрационных грохотов определяется по формуле, т/ч:

$$\Pi = k_{\text{т}} q_{\text{п}} B L \gamma,$$

$$П = k_T q_{II} B L \gamma ,$$

где  $k_T$  – поправочный коэффициент на отсеив;

$q_{II}$  – удельная производительность по питанию,  $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

$B$  – расчетная ширина сита, м;

$L$  – рабочая длина сита, м;

$\gamma$  – объемная масса материала,  $\text{т}/\text{м}^3$ .

При этом используют выражения:  $q = 6\sqrt{a}$  (при  $a \geq 10$  мм);  $B = 0,95B_0$

$$k_T = \frac{100 - \mathcal{E}}{7,5} ,$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность грохочения, %;

$a$  – размер ячеек (щели) сита, мм;

$B_0$  – рабочая ширина грохота, м.



Режим работы механических вибрационных грохотов характеризуется

скоростью движения материала по сити, м/с:

$$v_d = \omega r \sin(\lambda + \delta) ,$$

где  $\omega$  – угловая скорость колебаний короба,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r$  – амплитуда колебаний (эксцентриситет вала вибратора), мм;

$\lambda$  – угол бросания, град.;

$\delta$  – угол наклона просеивающей поверхности к горизонту, град.

По известной скорости движения материала по сити грохота определяют

производительность грохота, т/ч:

$$\Pi = 3600 \cdot B h \gamma v_d / k_{\Pi}$$

где  $B$  – ширина грохота, м;

$h$  – высота слоя материала, м;

$\gamma$  – объемная масса материала,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$v_d$  – скорость движения материала по сити грохота, м/с.

В зависимости от типа механического вибрационного грохота определяют необходимые величины, используя условия равенства центробежных сил от массы противовесов  $m_{\text{п}}$  и массы короба с материалом  $m_{\text{к}}$ :

$$m_{\text{п}}R\omega^2 = m_{\text{к}}r\omega^2,$$

или

$$m_{\text{п}}R = m_{\text{к}}r,$$

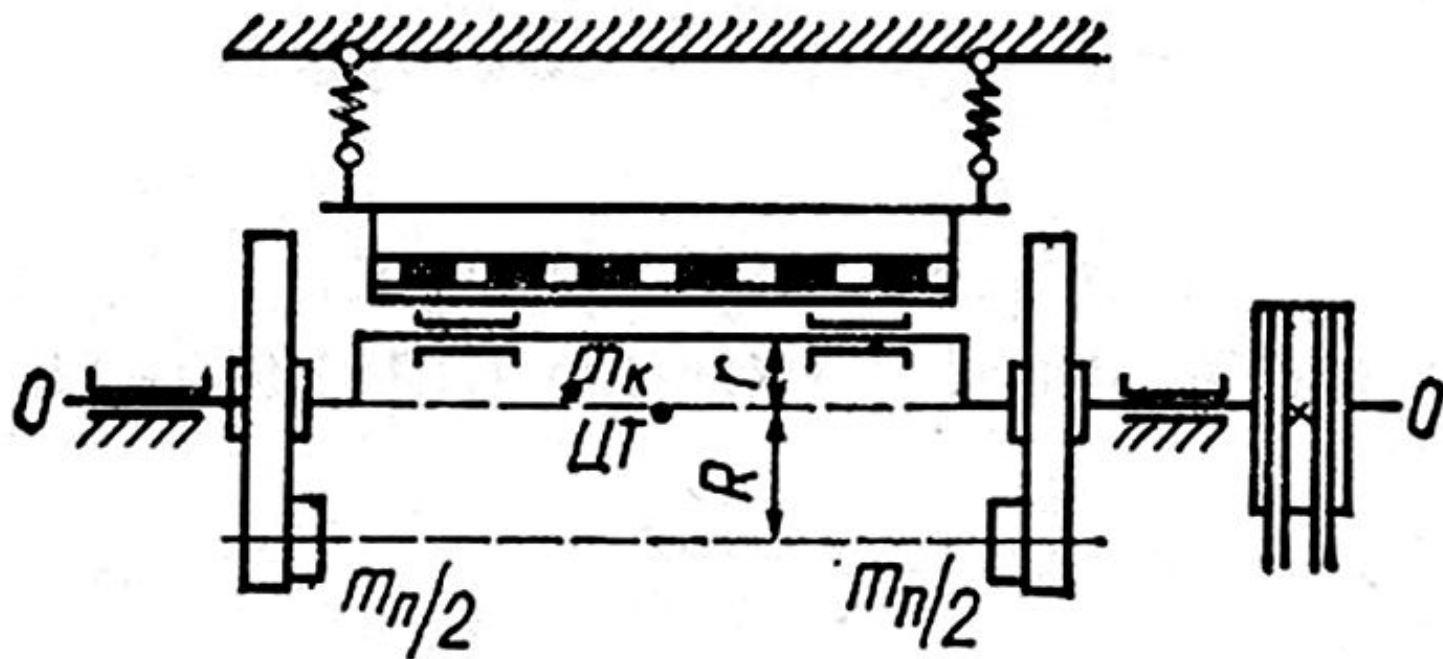
где  $R$  – смещение центра тяжести противовеса относительно оси вращения вала;

$r$  – эксцентриситет вала;

$\omega$  – угловая скорость вращения вала.

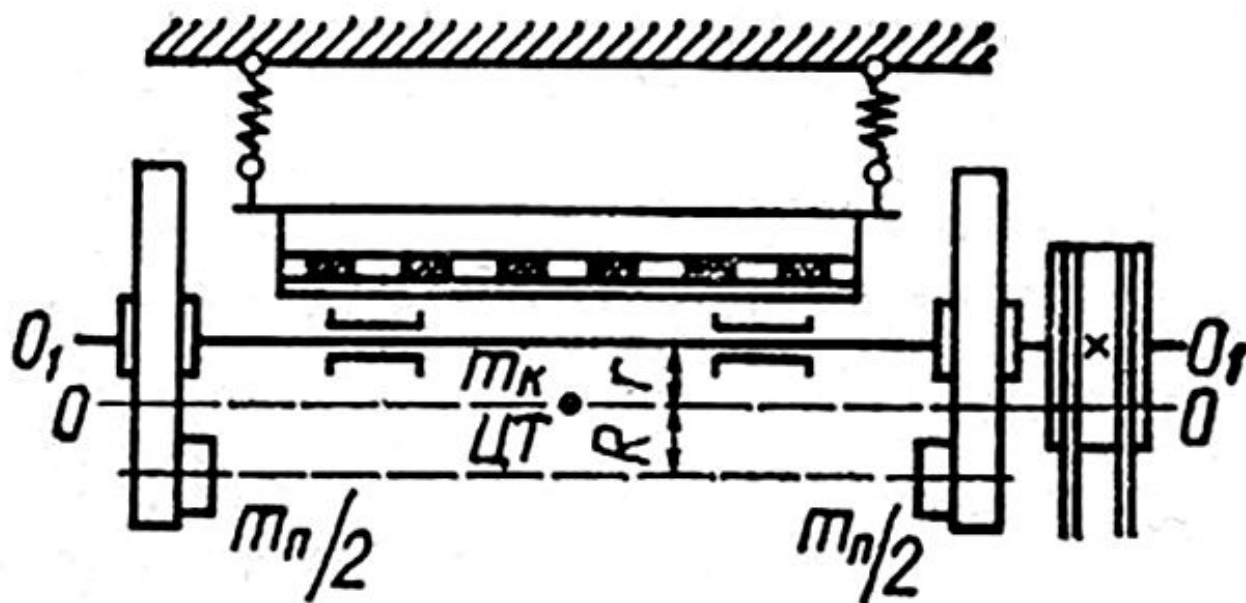
1. Для *полувибрационного* грохота массу противовеса с целью обеспечения расположения общего центра тяжести всей системы на оси  $O-O$  вала с эксцентриксом радиусом  $r$ , вращающегося в опорных подшипниках

$$m_{\text{п}} = m_{\text{к}} \frac{r}{R}.$$



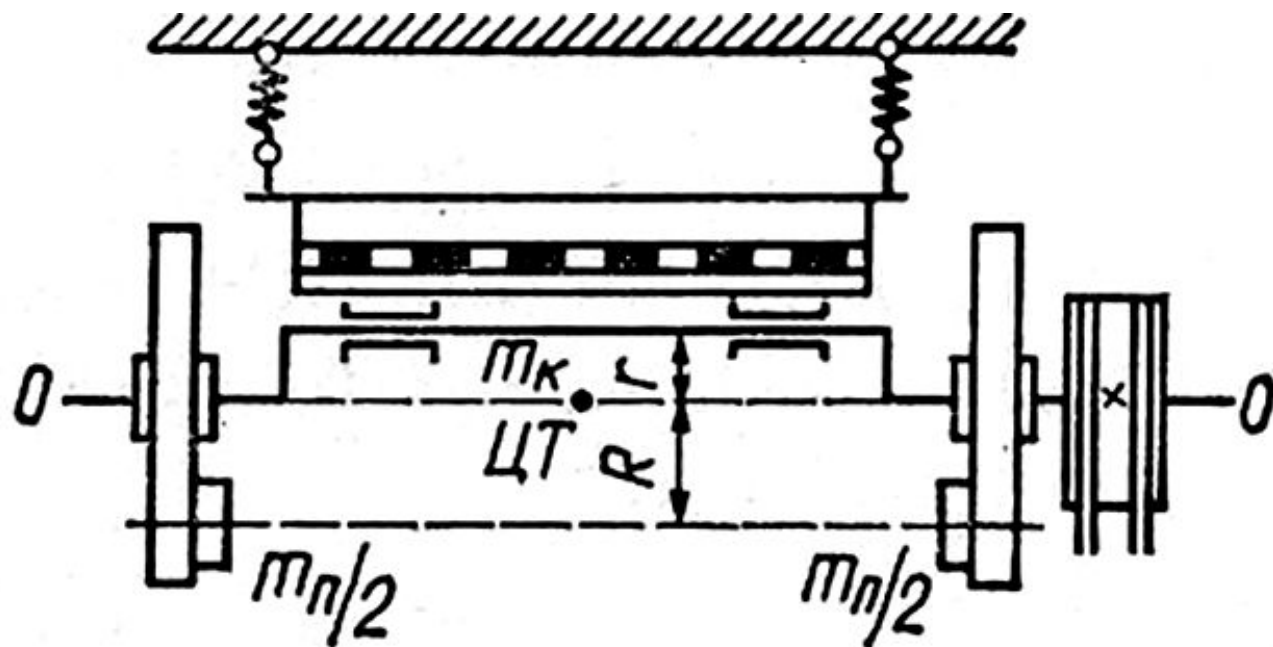
2. Для *простого вибрационного* грохота амплитуду колебаний  $r$  гладкого вала вокруг оси  $O - O$

$$r = m_{\Pi} R / m_{\text{К}} .$$





3. Для *самоцентрирующегося* грохота с целью обеспечения постоянства амплитуды колебаний (радиуса)  $r$  и эксцентрикового вала вокруг оси  $O-O$  должно соблюдаться равенство:  $m_{\Pi}R = m_{\kappa}r$

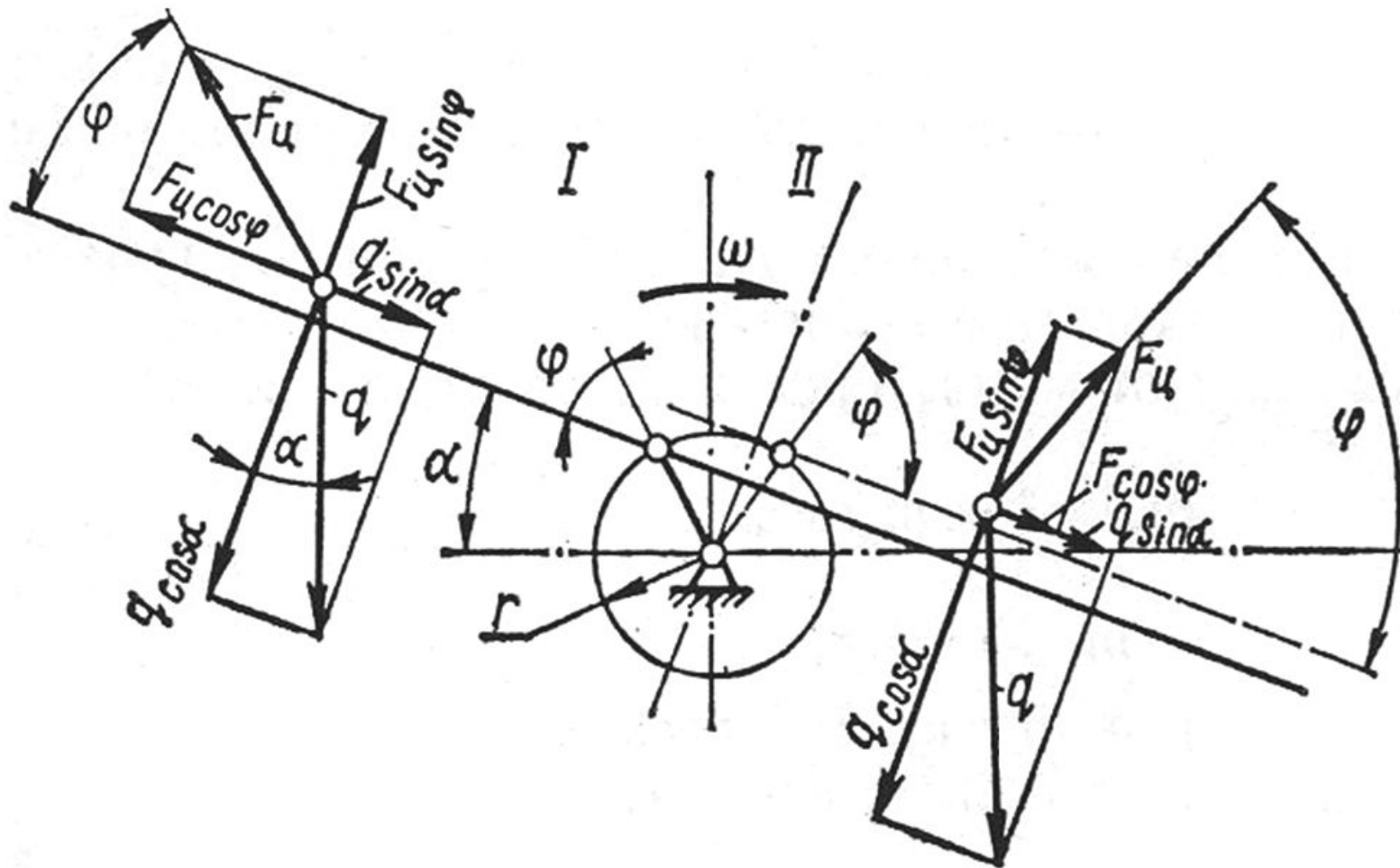


Регулировка грохота (балансировка) производится путем изменения массы противовеса  $m_{\Pi}$  и положения его центра тяжести с тем, чтобы общий центр тяжести находился на оси  $O-O$ , вокруг которой вращается приводной вал.



# Расчет оптимальной угловой скорости эксцентрикового вала

Рассмотрим силы, действующие на кусок материала, лежащий на сите грохота (область I).



**Для обеспечения отрыва** (подбрасывания) материала от сита нормальная составляющая  $F_{\text{ц}} \sin \varphi$  центробежной силы  $F_{\text{ц}} = m_{\text{r}} \omega^2 r$  должна быть больше составляющей веса частицы  $q$ , равной  $q \cos \alpha$ , тогда

$$m_{\text{r}} \omega^2 r \sin \varphi > q \cos \alpha,$$

где  $m_{\text{r}} = q/g$  – масса частицы;

$\omega$  – угловая скорость вращения вала вибратора,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r$  – эксцентриситет вала вибратора (амплитуда колебаний), м;

$\varphi$  – угол между направлением центробежной силы и плоскостью сита;

$\alpha$  – угол наклона короба к горизонту;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

**Минимальная угловая скорость** вала вибратора, при превышении которой происходит подбрасывание материала над ситом, будет при  $\varphi = 90^\circ$

$$\omega_{\Pi} = \sqrt{\cos \alpha / r},$$

где  $r$  – амплитуда колебаний, м.

При  $\omega > \omega_{\Pi}$  **подбрасывание начинается** при угле  $\varphi_1 < 90^\circ$ , определяемом как

$$\sin \varphi_1 = q \cos \alpha / \omega^2 r.$$

При этом **начальная скорость** подбрасывания нормальная к поверхности грохота

$$v_o = v \cos \varphi_1 = \omega r \cos \varphi_1,$$

а **время полета частицы** со скоростью  $v_o$  под углом  $(90^\circ - \alpha)$  к горизонту

$$t_o = 2v_o \cos \alpha / g.$$

Время, за которое вал вибратора совершит один оборот  $t_{об} = 2\pi/\omega$ , выбирать меньше  $t_0$  не целесообразно, поскольку увеличение скорости приводит к перерасходу энергии.

Приравняв  $t_{об} = t_0$  и выполнив подстановку и преобразования, определяют критическую, т. е. необходимую наибольшую угловую скорость вала вибратора,  $c^{-1}$  :

$$\omega_{кр} = \sqrt{\pi g / r \cos \alpha} .$$

Максимальное значение угловой скорости вибратора, при котором возможно движение материала вниз по грохоту, определяется из условия (область II)

$$F_{ц} \cos \varphi > f_1 (q \cos \alpha - F_{ц} \sin \varphi) - q \sin \alpha ,$$

где  $f_1$  – коэффициент трения материала по сити.

После подстановки  $F_{ц} = m_r \omega^2 r$  и преобразований, получим

$$\omega_{\min} > \sqrt{\frac{q(f_1 \cos \alpha - \sin \alpha)}{mr(\cos \varphi + f_1 \sin \varphi)}} .$$

Максимальное значение знаменателя определяют из условия

$$\frac{d}{d\varphi}(\cos \varphi + f_1 \sin \varphi) = -\sin \varphi + f_1 \cos \varphi = 0 .$$

При этом  $\operatorname{tg} \varphi = f_1$  и  $\varphi = \rho$ , где  $\rho$  - угол трения.

Тогда после подстановок и преобразований получим выражение для наименьшей угловой скорости вала вибратора

$$\omega_{\min} = \sqrt{\frac{\sin(\rho - \alpha)}{r}} g .$$



**Максимальная угловая скорость** вибратора, при которой исключается возможность движения материала вверх по ситу определится из условия:

$$F_{\Pi} \cos \varphi < f_1 (g \cdot \cos \alpha - F_{\Pi} \sin \varphi) + q \sin \alpha ,$$

откуда

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{\sin(\rho + \alpha)}{r}} g .$$

**Заметим!**

1)  $\omega_{\max} < \omega_{\text{кр}}$ , так как всегда  $\sin(\rho + \alpha) < 1/\cos \alpha$ .

2) Равенство  $\omega_{\min}$  и  $\omega_{\Pi}$  может быть только при условии  $\sin(\rho - \alpha) = \cos \alpha$ , но при  $\rho = 90^\circ f_1 = \infty$ , что нереально. Поэтому  $\omega_{\Pi} < \omega_{\min}$ .

3) Сравнивая  $\omega_{\Pi}$  и  $\omega_{\max}$  видим, что они могут быть равны при условии  $\sin(\rho + \alpha) = \cos \alpha$  или при  $\rho + 2\alpha = 90^\circ$ , поскольку все углы острые. Но  $\alpha < \rho$ , так как материал не должен перемещаться по неподвижному сити грохота. Если  $\rho + 2\alpha > 90^\circ$ , то  $\sin(\rho + \alpha) > \cos \alpha$  и  $\omega_{\max} > \omega_{\Pi}$ , т. е. возможна работа грохота с подбрасыванием без перемещения материала вверх. Если  $\rho + 2\alpha < 90^\circ$ , то  $\omega_{\max} < \omega_{\Pi}$  и движение материала вверх начинается при меньшей частоте вращения, что необходимо для подбрасывания.

**Угловую скорость вала вибратора** выбирают между  $\omega_{\max}$  и  $\omega_{\min}$ . При расчетах пользуются формулой:

$$\omega_p = 4\sqrt{\sin(\rho - \alpha)/r},$$

где  $r$  – в метрах.

## 2. Питатели и дозаторы, назначение и конструкции

*Для равномерной выдачи* сыпучих материалов из бункеров на конвейеры или *подачи* непосредственно в технологические машины (например в дробилку, грохоты) применяют:

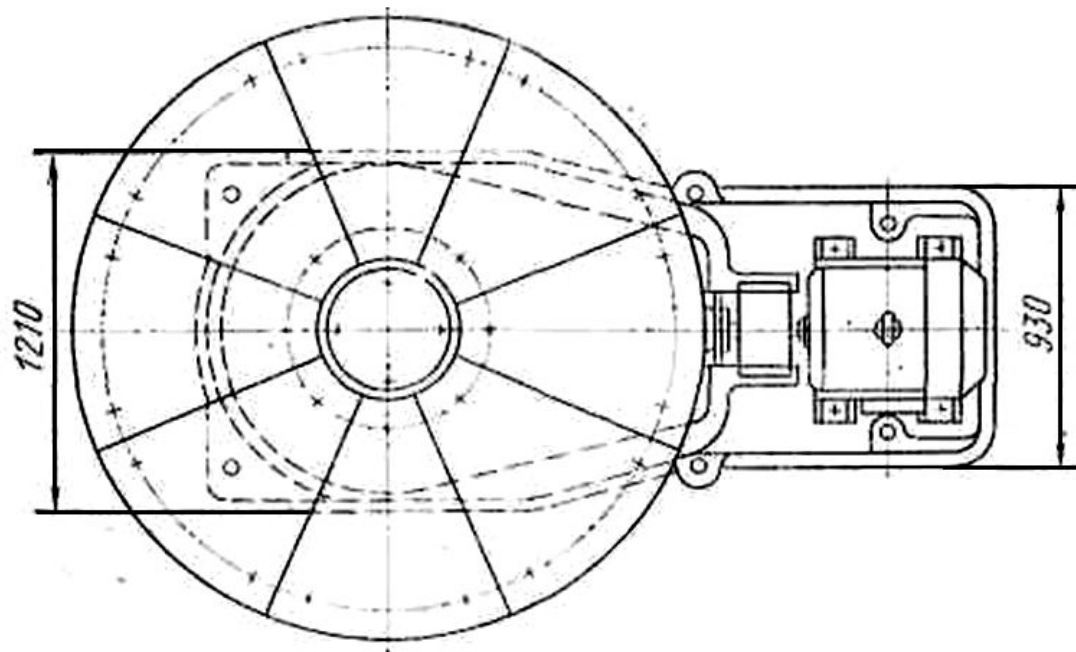
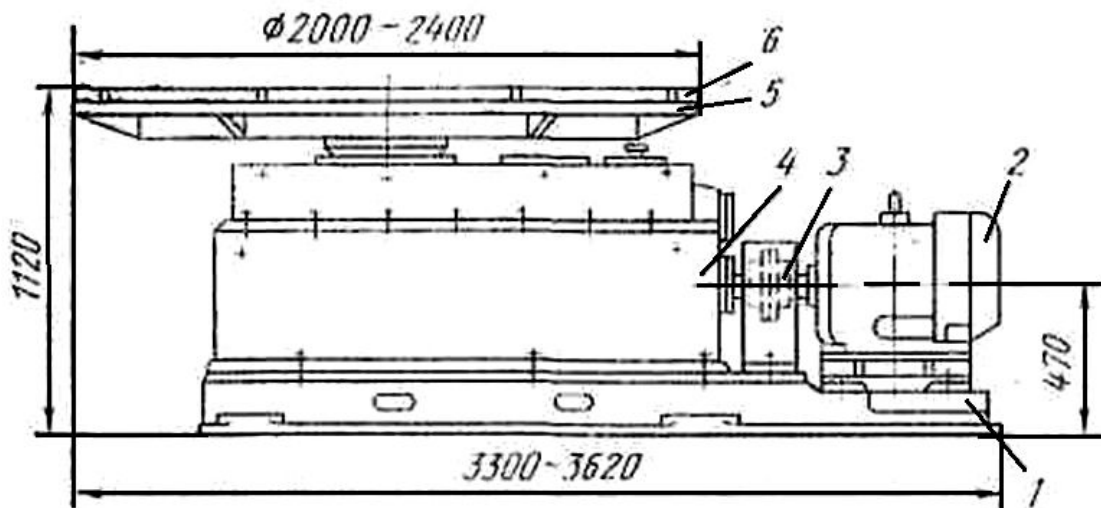
- питатели;
- дозаторы.

*Дозаторы в отличие от питателей имеют взвешивающее устройство.*

По конструкции и принципу действия *питатели и дозаторы различают на:*

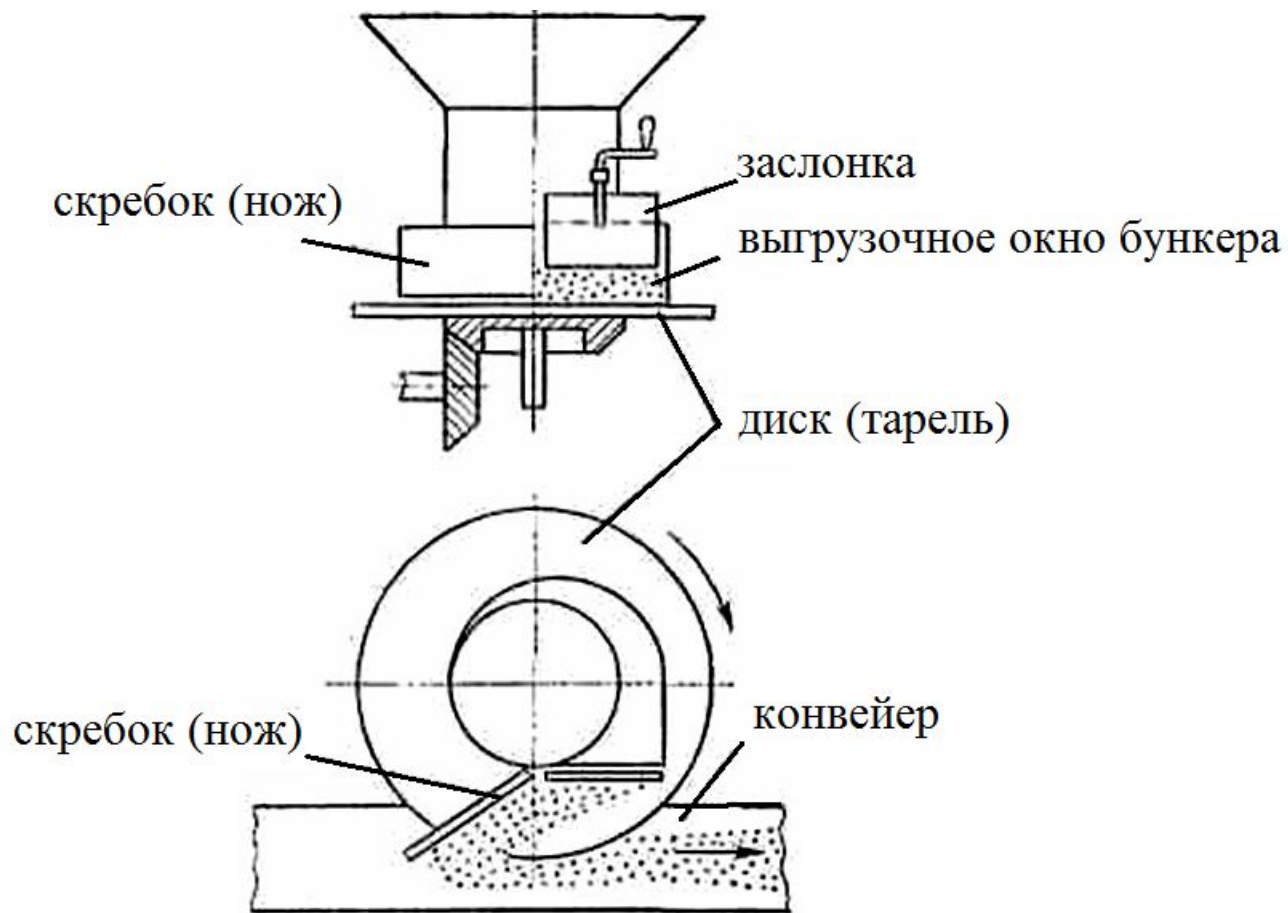
- дисковые;
- барабанный
- ленточные;
- пластинчатые;
- качающиеся;
- лотковые;
- электровибрационные.

# Дисковый (тарельчатый) питатель



- 1 – рама,
- 2 – электродвигатель,
- 3 – муфта,
- 4 – редуктор,
- 5 – диск (тарель),
- 6 – плиты (футеровка)

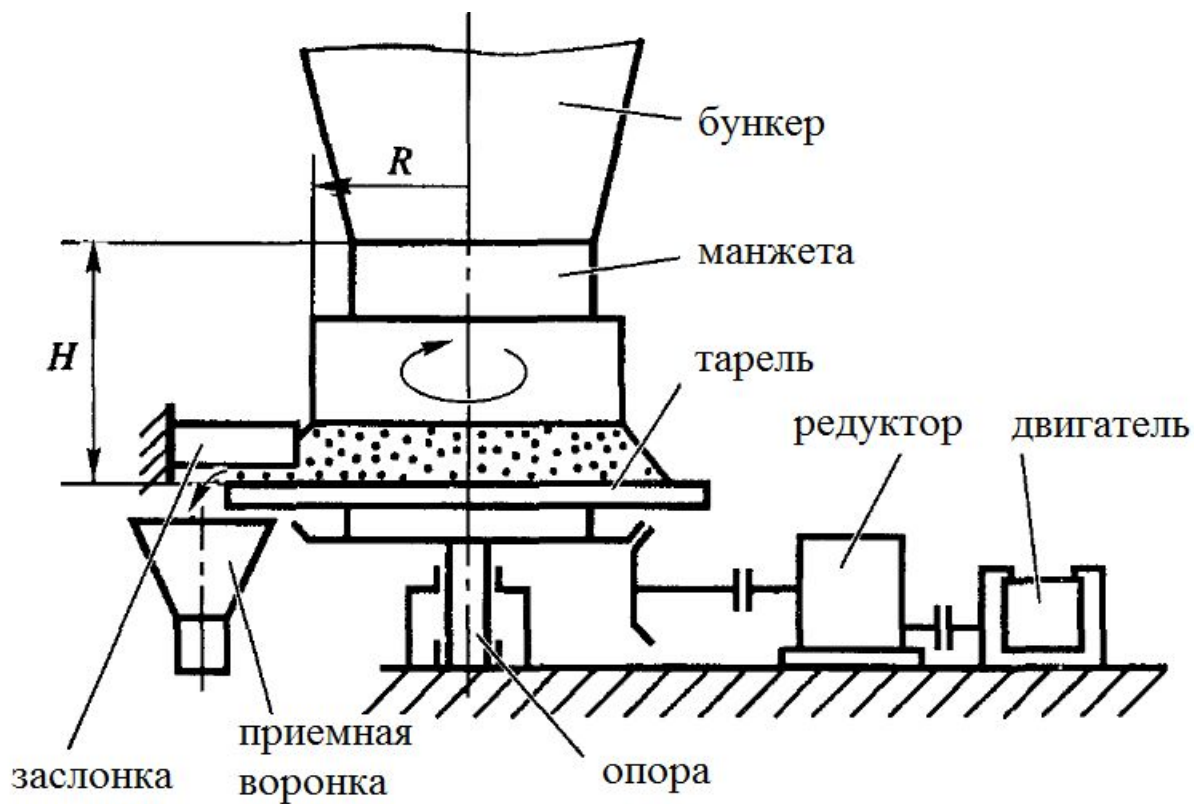
## Принцип действия дискового питателя



Дисковые питатели часто используют в качестве дозаторов. Однако дозирование по объему **не обеспечивает** требуемого постоянства состава шихты, так как на производительность питателя влияют также крупность компонентов шихты, их влажность, уровень заполнения бункера и другие факторы.



# Производительность дискового питателя



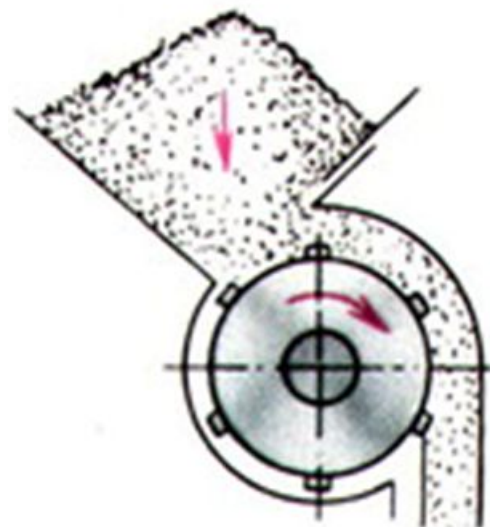
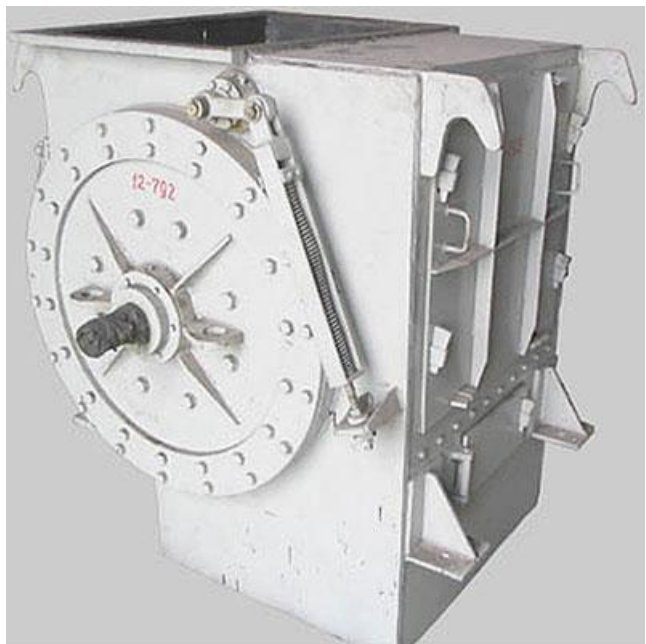
$$\Pi = \frac{0,06H^2 n \rho}{\operatorname{tg} \varphi} \left[ \pi R + \frac{H}{3 \operatorname{tg} \varphi} \right]$$

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

$\rho$  – насыпная масса  $\text{т/м}^3$ ;

$\varphi$  – угол естественного откоса материала.

# Барабанный питатель



Производительность

$$P = 1800BhD \omega \rho \psi$$

$B$  – рабочая ширина барабана, м;

$h$  – высота разгрузочной щели, м;

$D$  – рабочий диаметр барабана, м;

$\omega$  – угловая скорость барабана,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\rho$  – насыпная масса  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$\psi$  – коэффициент заполнения полотна ленты материалом (0,7).

## Питатель ленточный



Транспортирование мелких и средних сыпучих, сухих и влажных материалов.

Устанавливают горизонтально или с уклоном  $10^\circ$  в сторону подачи.

В горизонтальной части устанавливают заслонку для регулирования производительности

## Питатель пластичатый



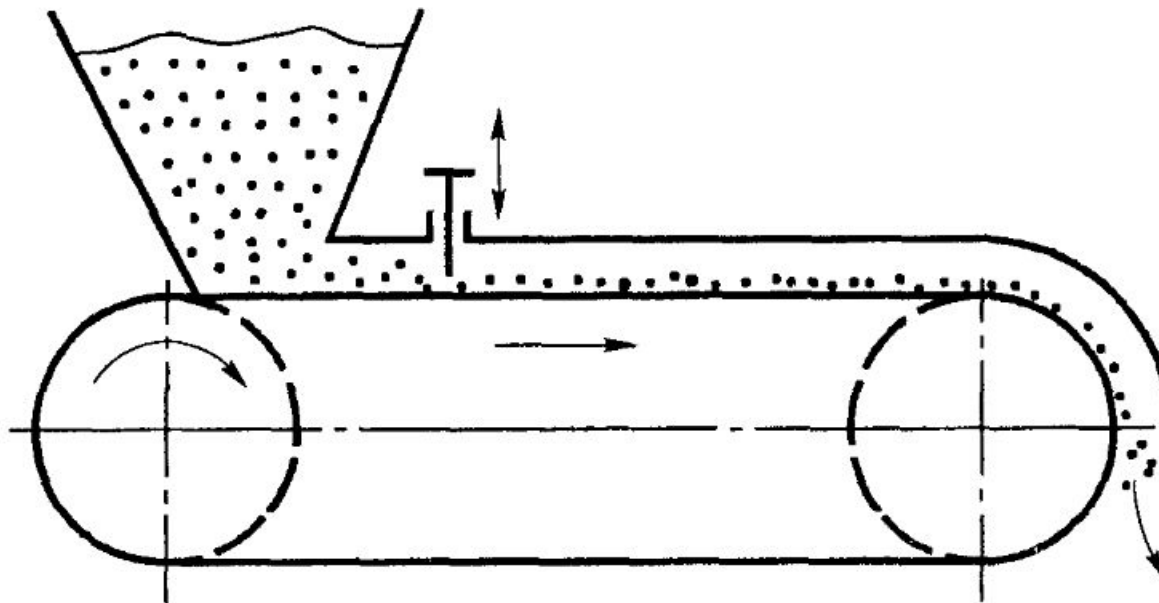
Можно устанавливать под бункером в качестве затвора.

Уклон до  $35^\circ$  в сторону подачи.

Легкого типа – транспортируют куски шихты, руды, агломерата до 400 мм и  $500^\circ\text{C}$

Тяжелого типа – руда до 1250 мм

# Производительность ленточного (пластинчатого) питателя



$$P = 3600 B \delta v \rho \psi$$

$B$  – ширина ленты, м;

$\delta$  – толщина слоя материала, м;

$v$  – скорость ленты (0,05...0,4), м/с;

$\rho$  – насыпная масса т/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коэффициент заполнения полотна ленты материалом (0,7...0,8).



## Питатель качающийся



## Питатель лотковый



## Питатель вибрационный





### 3. Барабанные смесители и окомкователи шихты

Перемешивание и окомкование компонентов агломерационной шихты осуществляют в агрегатах барабанного типа.

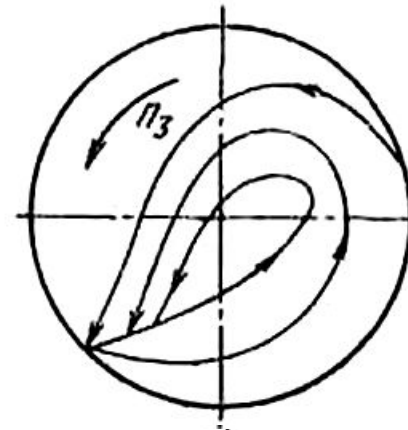
По конструкции привода агрегатов барабанного типа, различают два вида:

- на роликовых опорах с бандажами и зубчатым венцом;
- на роликовых опорах (одна сторона приводная) бандажированных резиной.

*Вторая конструкция является более эффективной, поскольку снижаются динамические нагрузки и шум.*

В барабанных смесителях-окомкователях различают три режима движения шихтовых материалов:

- переката;
- водопадный;
- циклический



Режим переката возникает при окружной скорости на внутренней поверхности барабана 0,5–1,2 м/с.

Режим переката является основным при получении *окомкованной шихты и окатышей*.

Различие:

- окомкователи агломашины заполняются материалом на 8–12 % площади поперечного сечения барабана при угле наклона продольной оси 2,5–4°
- окатыши образуются при заполнении 3 % и угла наклона оси барабана 8–9°.

Водопадный режим – при окружной скорости барабана 1,2–2 м/с.

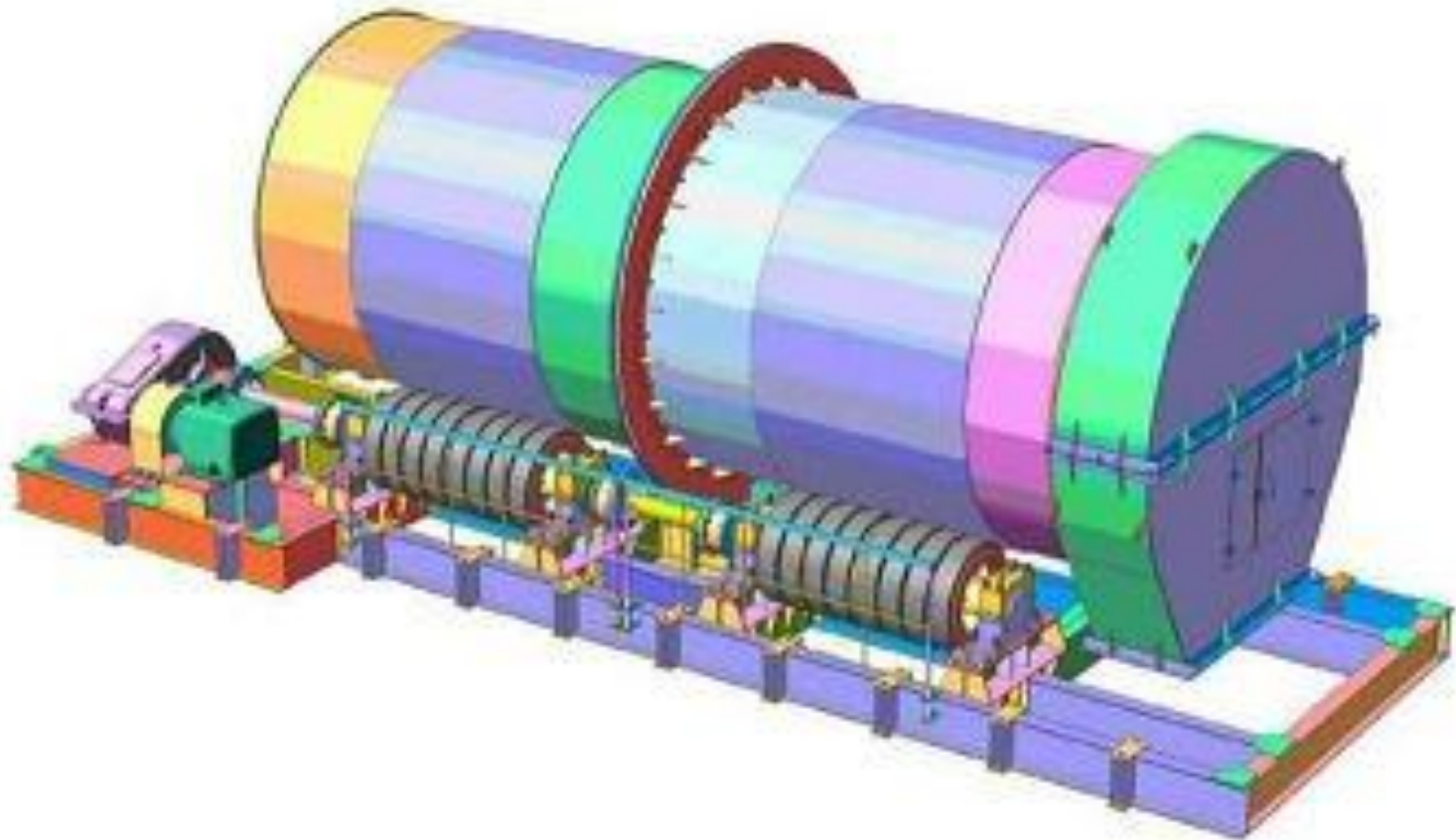
Обеспечивается более интенсивное пересечение траекторий движения отдельных частиц материалов и большая эффективность их перемешивания.

Оптимальное перемешивание в гладком барабане происходит при установке его оси под углом 1,5–2,5 ° к горизонту и степени заполнения его поперечного сечения 12–18 %.

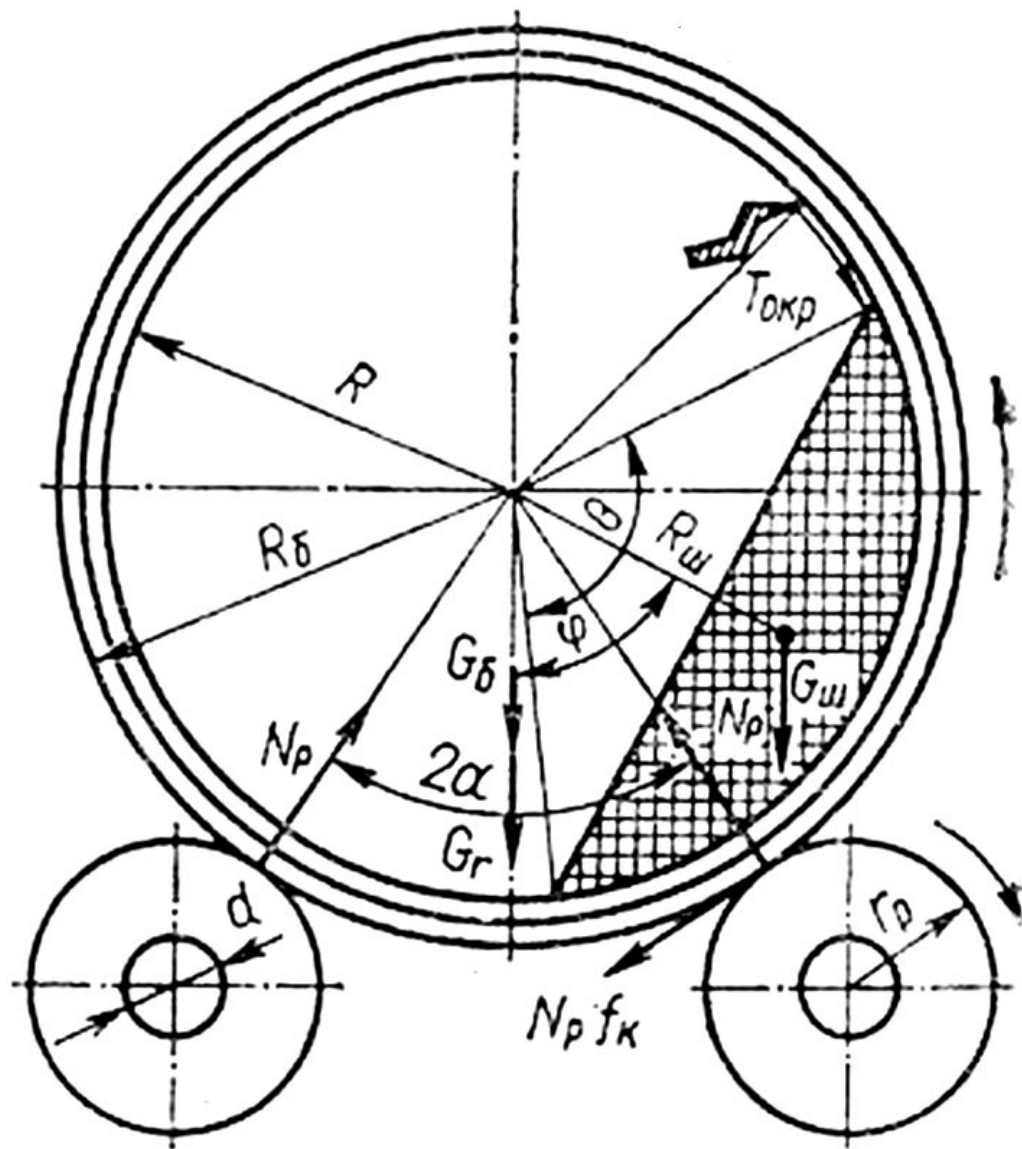
Циклический режим возникает при достаточно большой окружной скорости барабана, при которой траектории отдельных слоев материала превращаются в замкнутые и пересыпания не происходит.



**Барабанный смеситель аглошихты**  
**на роликовых опорах бандажированных резиной**



# Расчет мощности привода барабанного смесителя





Нагрузка на опорные ролики складывается из веса барабана  $G_{\text{б}}$ , веса шихты в барабане  $G_{\text{ш}}$  и веса гарнисажа  $G_{\text{г}}$ . Вес шихты  $G_{\text{ш}}$  определяют по формуле

$$G_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^n G_i \quad (3.1)$$

или при известной степени заполнения барабана по формуле

$$G_{\text{г}} \frac{\pi D^2}{4} L \gamma g \varphi, \quad (3.2)$$

где  $L$  – длина барабана, м;

$\varphi$  – степень заполнения барабана, %.

Нагрузка на один ролик составляет

$$N_{\text{р}} = \frac{G_{\text{б}} + G_{\text{ш}} + G_{\text{г}}}{z \cdot \cos \alpha} \quad (3.3)$$

где  $z$  – число опорных роликов;

$\alpha$  – центральный угол между роликами.

Угол  $\alpha$  обычно принимают равным  $30 - 35^\circ$ . С увеличением угла повышается величина реакции  $N_p$ , а с уменьшением  $\alpha$  – снижается устойчивость барабана на роликах. Если влияние наклона оси барабана к горизонту на распределение нагрузок по роликам, а также сопротивление от трения в подшипниках упорных роликов незначительные, то при расчете ими пренебрегают.

*Определение моментов, на преодоление которых расходуется мощность электродвигателя.*

**1. Момент от сил трения в подшипниках роликов**, приведенный к оси барабана, кН·м:

$$M_1 = N_p f_{\text{пр}} r_{\text{ц}} \frac{R_{\text{б}}}{r_{\text{р}}} z, \quad (3.4)$$

где  $f_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения подшипников качения

где  $r_{ц}$  – радиус цапфы;

$R_{б}$  – радиус бандажа;

$r_{р}$  – радиус опорного ролика;

$f_{к}$  – коэффициент трения качения шарика по обойме, м;

$d_{о}$  – диаметр беговой дорожки (внутренней обоймы) подшипника;

$r_{ш}$  – радиус шарика (ролика) подшипника;

$k_{ш}$  – коэффициент 1,4 или 1,6 соответственно для шарикового или ролико-

вого подшипника.

**2. Момент от сил трения бандажей по роликам**, приведенный к оси барабана, кН·м:

$$M_2 = N_p k \frac{R_{б}}{r_{р}} z \quad (3.5)$$

где  $k$  – коэффициент трения качения ролика по бандажу, м.

### 3. Момент от веса шихты во вращающемся барабане.

Принимают, что шихта представляет собой одно неподвижное тело, имеющее в сечении форму, сегмента наклоненного вертикали на угол  $\varphi$ . Угол  $\varphi$  определяется углом внутреннего трения материала, характеризующимся углом естественного откоса, и в значительной степени зависит от скорости вращения барабана.

Обычно угол  $\varphi$  при нахождении в барабане железорудной шихты принимают равным  $45^\circ$ , кН·м:

$$M_3 = G_{\text{ш}} R_{\text{ш}} \sin \varphi, \quad (3.6)$$

где  $R_{\text{ш}}$  – расстояние от оси барабана до центра тяжести кругового сегмента шихты

$$R_{\text{ш}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{R \sin \frac{\theta}{2}}{\theta - \sin \theta}$$



4. Момент от сил, возникающих при срезании гарнисажа резцами очистного устройства, кН·м:

$$M_4 = T_{\text{окр}} (R_{\text{б}} - s_{\text{г}}) z_{\text{р}}, \quad (3.7)$$

где  $T_{\text{окр}}$  – окружная составляющая силы резания на одном резце (кН)

$$T_{\text{окр}} = p s_{\text{с}} b_{\text{с}}$$

$p$  – удельное сопротивление резанию, кПа;

$s_{\text{с}}$  – толщина среза одним резцом;

$b_{\text{с}}$  – ширина среза одним резцом;

$s_{\text{г}}$  – толщина слоя гарнисажа;

$z_{\text{р}}$  – число резцов в очистном устройстве.



**Общий момент**, преодолеваемый электродвигателем, кН·м:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4. \quad (3.8)$$

**Мощность электродвигателя** привода, работающего в длительном режиме, кВт:

$$P = M \omega_{\delta} / \eta, \quad (3.9)$$

где  $\omega_{\delta}$  – угловая скорость барабана,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\eta$  – общий к. п. д. привода.