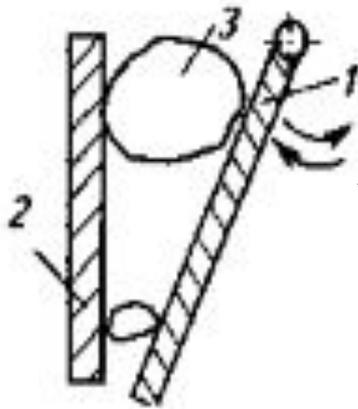


Раздел 2.

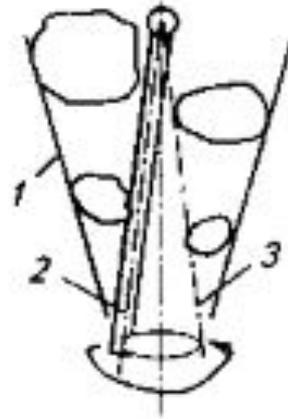
Механическое оборудование

Схемы дробилок



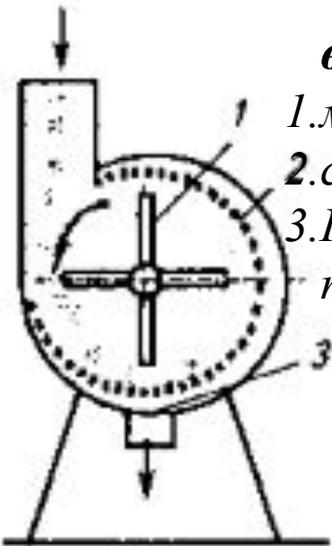
а) Щековая дробилка:

1. Подвижная щека;
2. Неподвижная щека;
3. Измельчаемое сырье.



б) Конусная (гирационная) дробилка:

1. Подвижная дека;
2. Неподвижная дека;
3. Измельчаемое сырье.



в) Молотковая дробилка:

1. молоток;
2. ситовой пояс;
3. Патрубок для готового продукта.

г) Вальцовая дробилка:

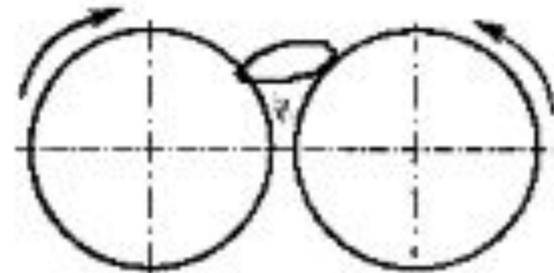
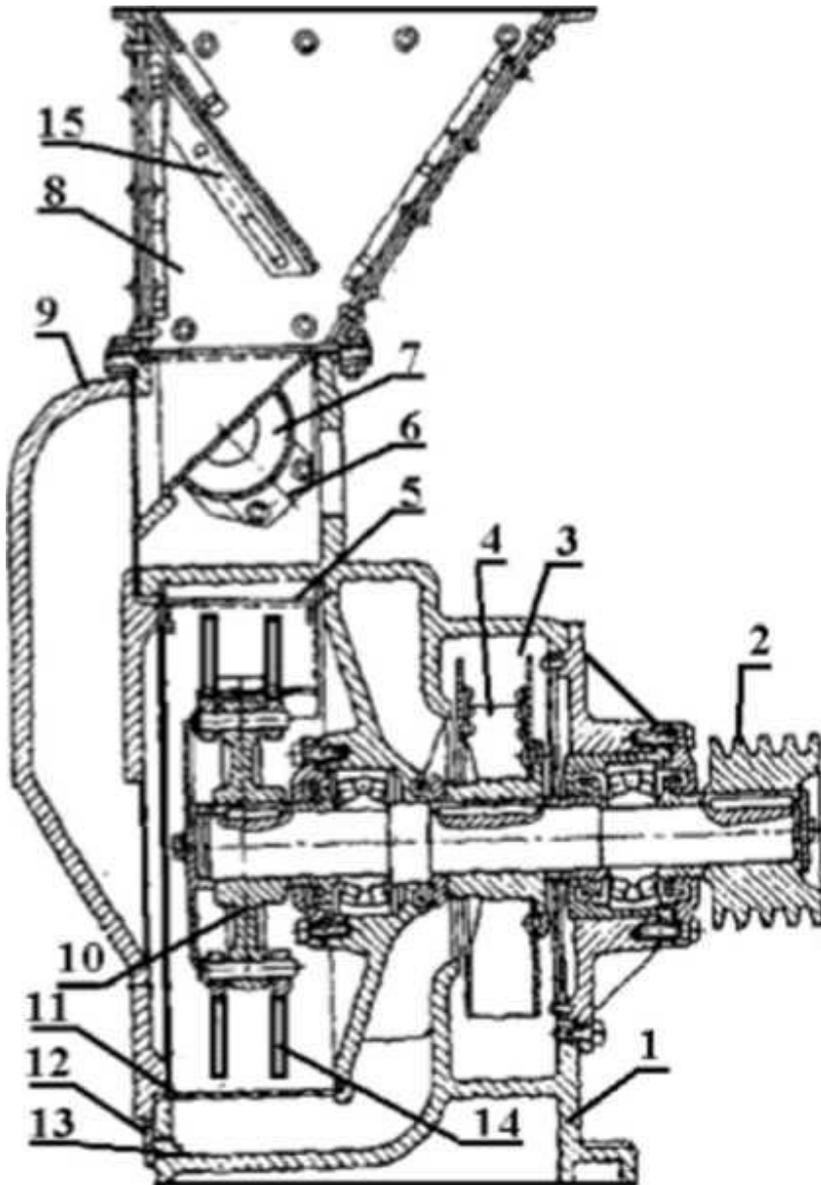


Схема молотковой дробилки



- 1 – корпус;
- 2 – шкив;
- 3 – камера для вентиляторного колеса;
- 4 – вентиляторное колесо;
- 5 – неподвижная дека;
- 6 – коробка для магнитов;
- 7 – постоянные магниты;
- 8 – приемный бункер;
- 9 – крышка;
- 10 – ротор в сборе;
- 11 – сито;
- 12 – планка;
- 13 – щель подачи воздуха;
- 14 – молоток;
- 15 – задвижка

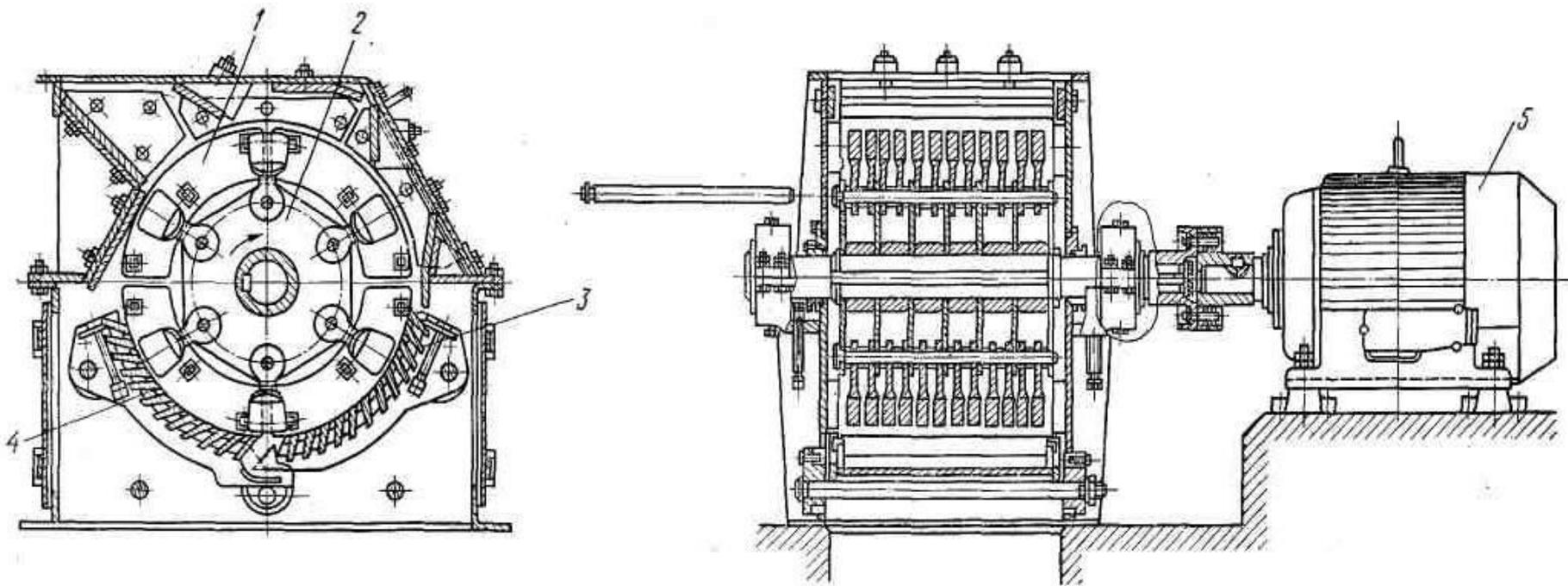
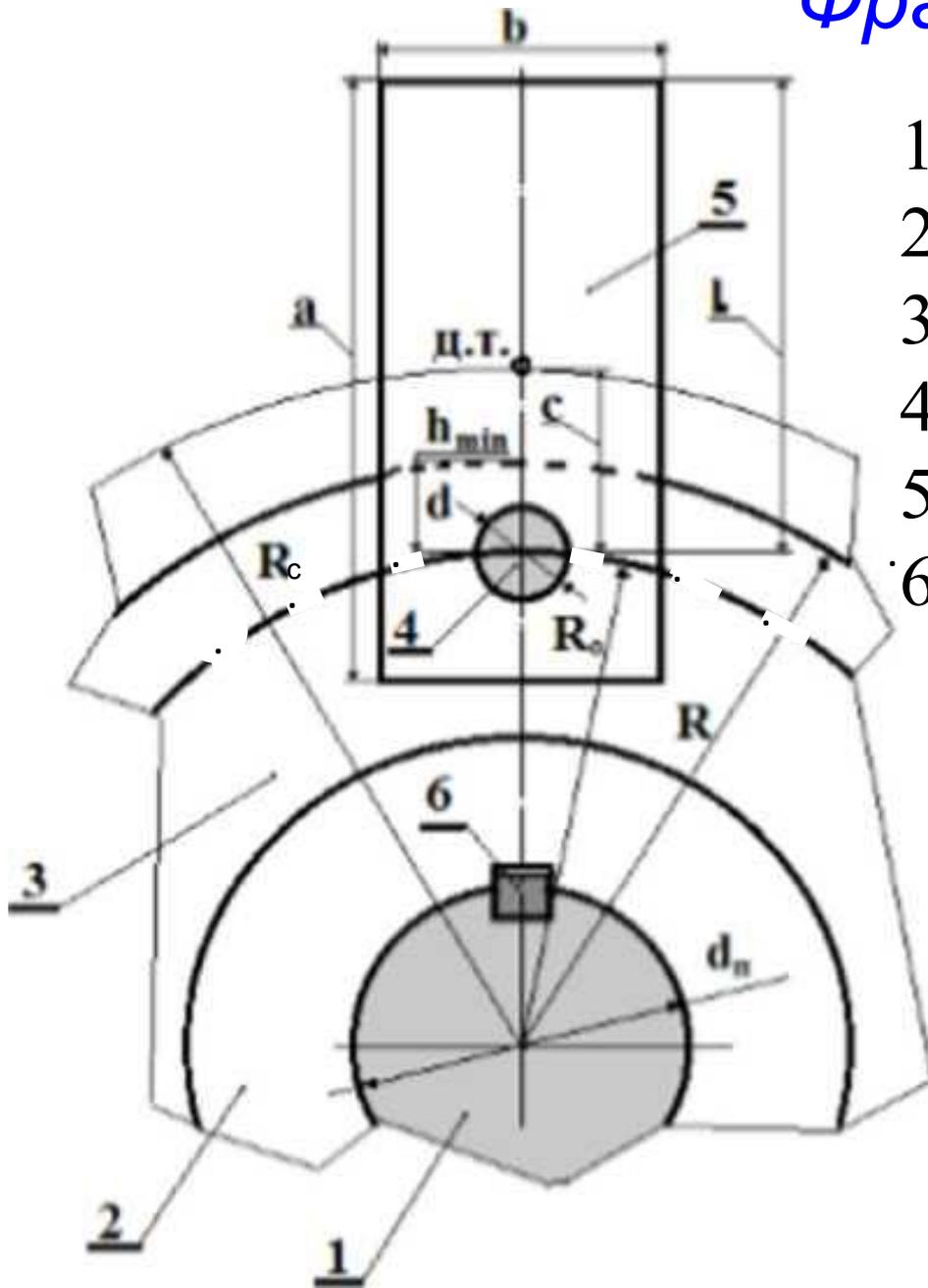


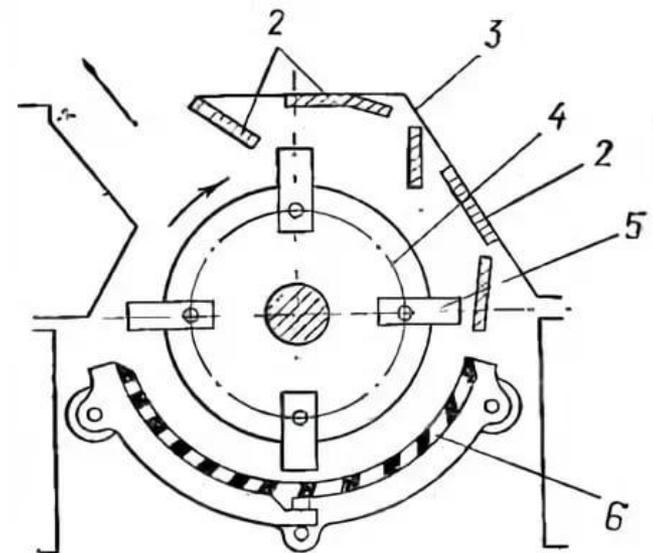
Рис. 17. Молотковая дробилка СМД-15 (СМ-431):

1 — корпус, 2 — ротор, 3 — колосниковая передняя решетка, 4 — колосниковая задняя решетка, 5 — электродвигатель.

Фрагмент схемы ротора



- 1 - вал ротора;
- 2 - промежуточные кольца;
- 3 - кольца;
- 4 - ось подвеса молотка;
- 5 - молоток;
- 6 - шпонка



Расчет молотковой дробилки

1. Минимальная окружная скорость молотков, (1):

$$V_{\min} = \frac{P \cdot t}{m};$$

где P - средняя мгновенная сила сопротивления разрушению частицы, Н;
 t - продолжительность удара молотка по частице, с;
 m - масса измельчаемой частицы, кг.

2. Условие безударной работы молотков, (2):

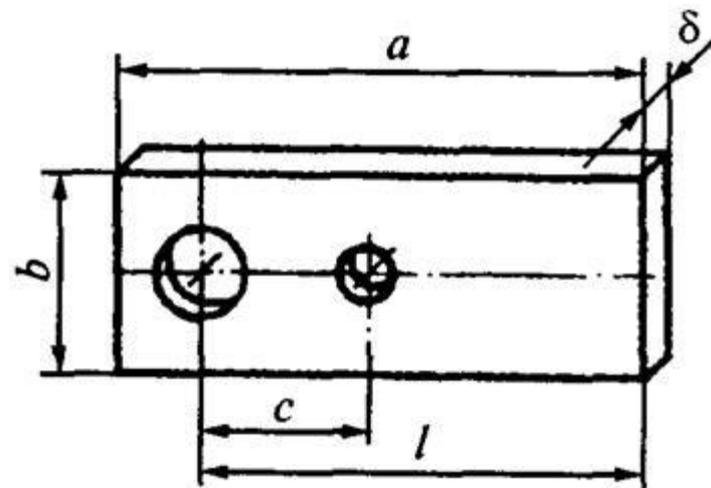
$$r = l \cdot c;$$

где r – радиус инерции молотка относительно оси подвеса, м;
 l – расстояние от оси подвеса молотка до его рабочего конца, м;
 c – расстояние между центром тяжести и осью подвеса молотка, м.

3. Радиус инерции относительно центра тяжести для прямоугольного молотка, (3): $r_c^2 = \frac{a^2 + b^2}{12}$;

относительно оси подвеса, (4): $r^2 = r_c^2 + c^2$;

где a и b – соответственно длина и ширина молотка, м



4 Расстояние от оси подвеса молотка до конечной точки молотка, (5): $l_c = c + 0,5a;$

5. Расстояние c от оси подвеса до центра тяжести молотка, м, (6):

$$c = \frac{a^2 + b^2}{6 \cdot a};$$

Для устойчивой работы молотковой дробилки необходимо, чтобы, :

$$l_c < R_0; \quad (7)$$

$$r^2 + c_c^2 = l \cdot c \quad (8)$$

6. Ориентировочно диаметр очередной ступени вала, (9)

$$d_n = 1,2^n \cdot d_0;$$

где n – порядковый номер очередной ступени вала;

d_0 – диаметр вала в опасном сечении, м;

$$d_0 = 0,0523 \sqrt[3]{\frac{N}{\omega}}; \quad (10)$$

где N – передаваемая валом мощность, кВт;

ω – угловая скорость вала, рад/с.

7. Суммарное напряжение по образующей центрального отверстия, (11):

$$\sigma = \sigma_{t \max} + \sigma_t;$$

где $\sigma_{t \max}$ – максимальное окружное напряжение в диске постоянного сечения на образующей центрального отверстия, кг/м²;

σ_t – окружное напряжение на образующей центрального отверстия, кг/м².

- максимальное окружное напряжение в стальном диске, 12):

$$\sigma_{t_{\max}} = \rho \cdot \omega^2 \cdot (0,825 \cdot R^2 + 0,175 \cdot r_0^2);$$

где ρ – плотность материала диска, кг/м³;

R – наружный радиус диска, м;

r_0 – радиус центрального отверстия диска, м,

- окружное напряжение от сил инерции молотков в стальном диске по образующей центрального отверстия, (13):

$$\sigma_t = \frac{P_u \cdot R_0 \cdot z}{\pi \cdot \delta \cdot (R_0^2 - r_0^2)};$$

где P_u – центробежная сила инерции молотка (без учета инерции в нем), Н;
 R_0 – радиус окружности расположения центров осей подвеса молотка, м;

z – число отверстий в диске под оси подвеса (число молотков);

δ – толщина диска, м.

8. Центробежная сила инерции молотка, (14):

$$P_u = m \cdot \omega^2 \cdot R_c;$$

где m – масса молотка, кг;

R_c – радиус окружности расположения центров массы молотков, м.

9. Диаметр оси подвеса молотков, (15):

$$d = 1,36 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_u \cdot \delta_m}{\sigma_u}};$$

$\sigma_u = 100 \text{ МПа}$ – допустимое напряжение изгиба для данного материала.

10. Проверка на сопротивление смятию и срезу, (16):

$$\frac{P_u}{\delta_d \cdot d} \leq \sigma_{см}; \quad (16) \quad 0,5 \cdot \frac{P_u}{(\delta_d \cdot h_{\min})} \leq \sigma_{ср}; \quad (17)$$

где δ_d – толщина диска молотковой дробилки, м;

h_{\min} – размер перемычки, м.

11. Мощность на валу молотковой дробилки для измельчения материала N , кВт, (18) :

$$N = (0,1 \dots 0,15) \cdot i \cdot Q;$$

де i – степень дробления материала;

Q – производительность молотковой дробилки, т/ч.

12. Производительность молотковой дробилки, (19):

$$Q = \frac{\varphi \cdot D^2 \cdot b_p \cdot n^2}{3600 \cdot (i - 1)};$$

где φ – опытный коэффициент для дробилок такого типа ($\varphi = 4 \dots 6,2$);

D – диаметр ротора, м;

b_p – ширина ротора, м;

n – число оборотов вала ротора, = $\frac{\omega \cdot 30}{\pi}$; об./мин;

i – степень измельчения материала.

З а д а ч а . Определить основные параметры рабочих органов молотковой дробилки, если известны следующие данные:

- масса измельчаемой частицы $m = 7 \cdot 10^{-5}$ кг,
- продолжительность удара молотка по частице продукта $t = 10^{-5}$ с,
- сила сопротивления частицы разрушению $P = 120$ Н.
- производительность дробилки $Q = 5$ т/ч.
- степень дробления материала $i = 20$.

Для молотковых дробилок производительностью $Q = 1 \dots 5$ т/час геометрические размеры молотка обычно равны:

длина $a = 100$ мм,
ширина $b = 40$ мм,
толщина $\delta = 10$ мм.

Стандартный ряд нормальных линейных размеров по
ГОСТ 6636-69 (СТ СЭВ 514-77) от 1 до 1000
миллиметров.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 26,
28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 65, 70,
75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140,
145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195, 200,
205, 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245, 250, 260, 270,
280, 290, 300, ... 990, 1000

При расчетах размеров элементов конструкций по условиям прочности для промежуточных значений следует выбирать ближайшее большее значение из данного ряда.

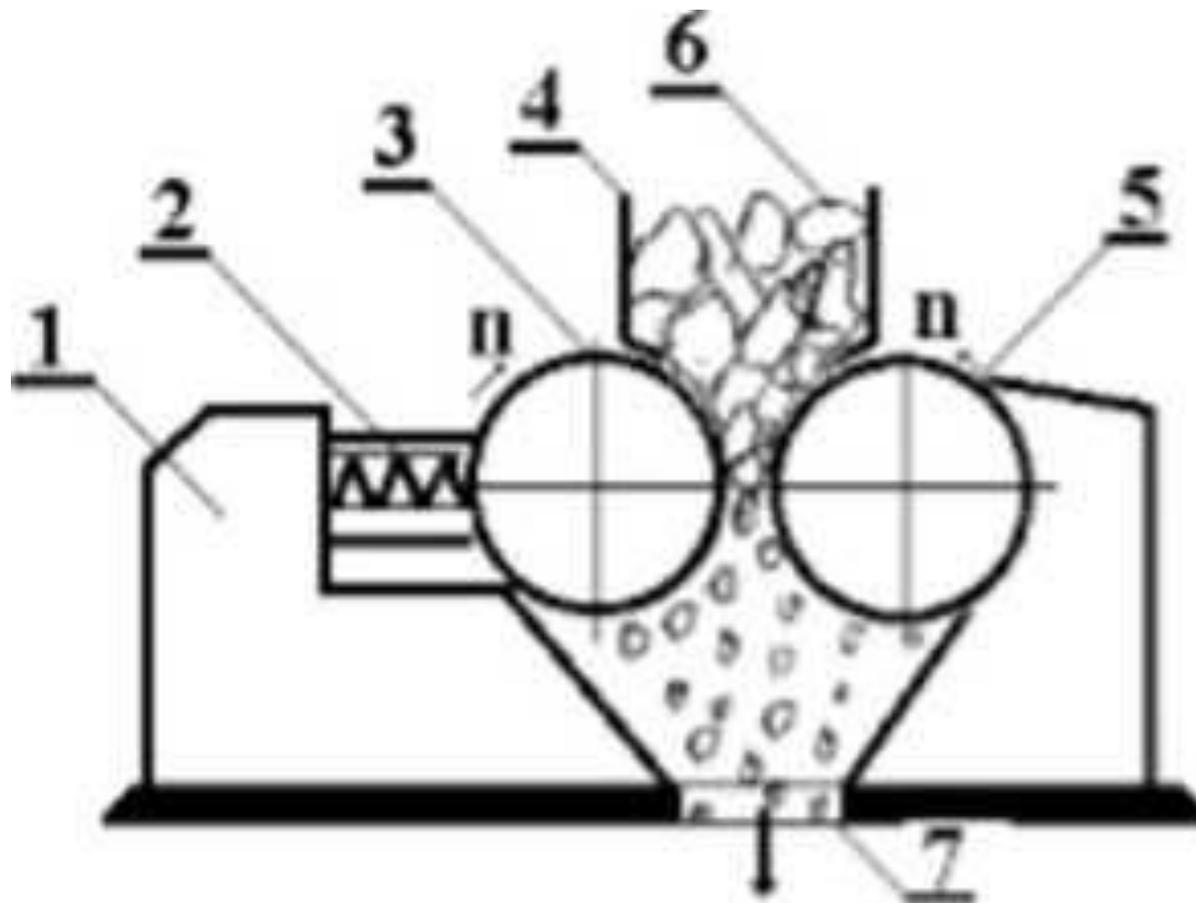
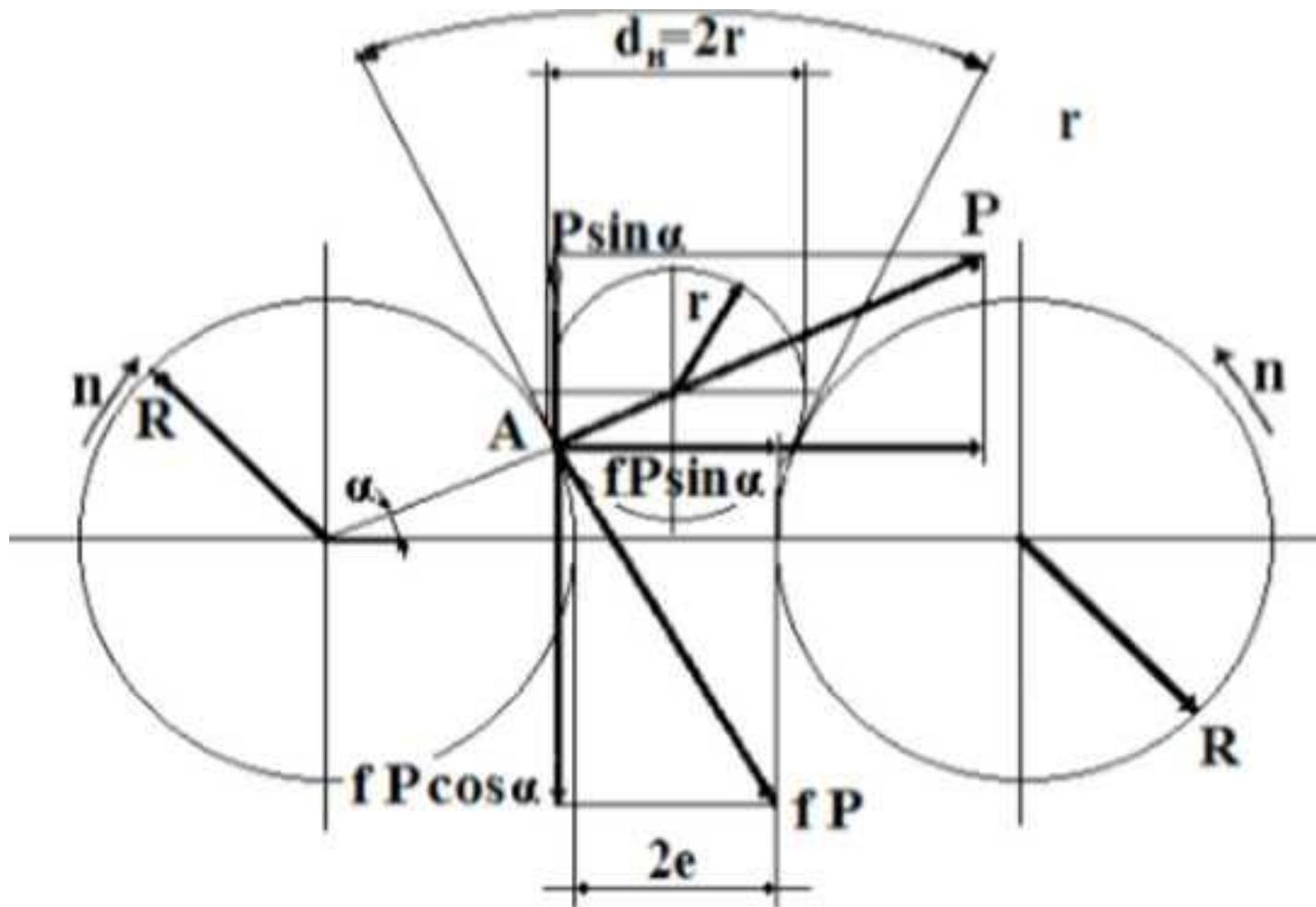


Схема вальцовой дробилки

- 1 - станина; 2 - пружина; 3 - подвижный валок; 4 - бункер;
5 - неподвижный валок; 6 - измельчаемый материал;
7 - канал для отвода измельченной массы



Расчетная схема

Условие захвата вальцами куска материала, (1):

$$2P \sin \alpha \leq f \cdot P \cdot \cos \alpha,$$

где α - угол захвата частицы;

f - коэффициент трения частицы о поверхность вальца.

Критический момент с захватом частицы, (2):

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \leq f \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg} \varphi.$$

φ – угол трения частицы о поверхность вальца;

Наибольший размер частиц, которые могут быть втянуты валками (3):

$$R+e = (R+r) \cdot \cos \alpha$$

Наибольший размер захватываемых частиц, (4):

$$2 \cdot r = \frac{2R \cdot (1 - \cos \alpha) + 2e}{\cos \alpha}$$

Диаметр валков, (5):

$$D_v = \frac{d_n \cdot \cos \frac{2\alpha}{2} - 2e}{1 - \cos \frac{2\alpha}{2}},$$

Производительность валковой дробилки G, (6):

$$G = 3600 \cdot L_0 \cdot d_k \cdot \pi \cdot D_v \cdot \rho_n \cdot \mu \cdot \frac{n}{60},$$

где G – производительность дробилки, кг/ч;

L₀ – необходимая длина валков, м;

d_к = 2e – диаметр частицы после измельчения, м;

ρ_н – плотность материала до измельчения, кг/м³;

μ – коэффициент разрыхления; при 2e ≥ 25 мм - μ=0,1;

при 2e = 7...24 - μ=0,15...02;

при 2e ≤ 6,5 мм - μ= 0,2...0,3.

n – количество оборотов валков дробилки, об/мин.

Откуда длина валка L_0 , м, (7)

$$L_0 = \frac{G}{60 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \rho_n \cdot d_k \cdot n \cdot D_e},$$

Допустимая длина валков. (8):

$$L_\partial = (2,5 \dots 4) \cdot D_e \quad - \text{ для валков с рифлями};$$

$$L_\partial = (3 \dots 7) \cdot D_e \quad - \text{ для гладких.}$$

Необходимое количество дробилок, (9):

$$m = \frac{L_0}{L_\partial} = \frac{L_0}{(2,5 \dots 4) \cdot D_e},$$

Предельного числа оборотов вальцов, (10):

$$n_{\text{пред}} = 616 \sqrt{\frac{f}{\rho_n \cdot d_n \cdot D_e}},$$

Рациональное число оборотов вальцов, (11):

$$n = (0,85 \dots 0,9) \cdot n_{\text{пред}}$$

Мощность вальцово́й дробилки, (12)

$$N = 0,117 \cdot D_{\text{в}} \cdot L \cdot n \cdot (k_i \cdot d_{\text{н}} + D_{\text{в}}^2),$$

где k_i - коэффициент, учитывающий степень дробления материала.

при i от 2 до 10 $k_i = 70.. 90$;

при i от 10 до 20 $k_i = 90... 120$;

при i от 20 до 30 $k_i = 120... 170$;

при i от 30 до 50 $k_i = 170... 250$

Установочную мощность электродвигателя $N_{\text{д}}$, кВт, (13):

$$N_{\text{д}} = \frac{k_{\text{м}} \cdot N}{\eta},$$

где $k_{\text{м}}$ - запас мощности на пуск электродвигателя дробилки ($k_{\text{м}} = 1,1... 1,2$);

η - КПД привода.

Величина η зависит от конструкции привода:

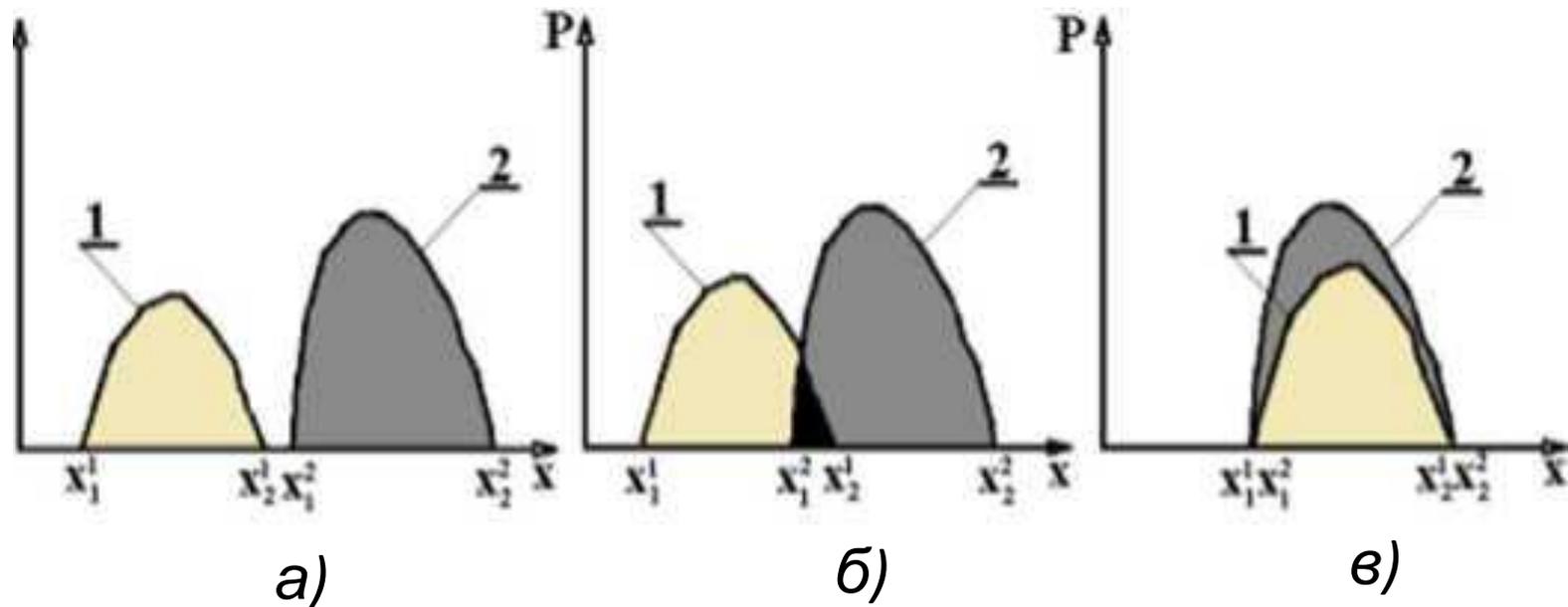
$\eta = 0,65$ (при сложной конструкции машины, имеющей редуктор);

$\eta = 0,93$ при более простой передаче.

З а д а ч а . Составить расчетную схему вальцовой дробилки и определить диаметр валцов D_v , длину L и мощность электродвигателя N_d . Плотность измельчаемого материала $\rho_n = 750$ кг/м³, коэффициент трения частицы о поверхность вальца $f = 0,3$; размер частицы до измельчения $d_n = 8$ мм, степень дробления материала $i = 8$, пропускная способность цеха $G = 1$ т/ч.

Как изменится величина необходимой мощности на привод дробилки (при рассчитанных конструктивных параметрах), если степень дробления материала будет составлять: $i = 10$, $i = 20$, $i = 30$?

Варианты делимости двухкомпонентной смеси по признаку x :



*а - разделимые смеси; б - трудноразделимые смеси;
в - неразделимые смеси*

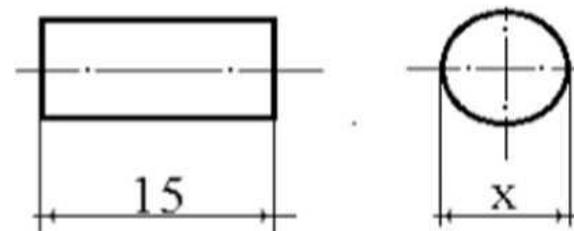
x_1^1, x_2^1 - минимальный и максимальный размеры частиц
1-го распределения;

x_1^2, x_2^2 - минимальный и максимальный размеры частиц
2-го распределения

P – вероятность распределения;

З а д а ч а. Для исходной смеси, состоящей из продукта и примеси, закон распределения которых по толщине частиц задан вариационными рядами (табл.), определить конструктивные и технологические параметры сита для разделения смеси на фракции: «примесь» - «продукт».

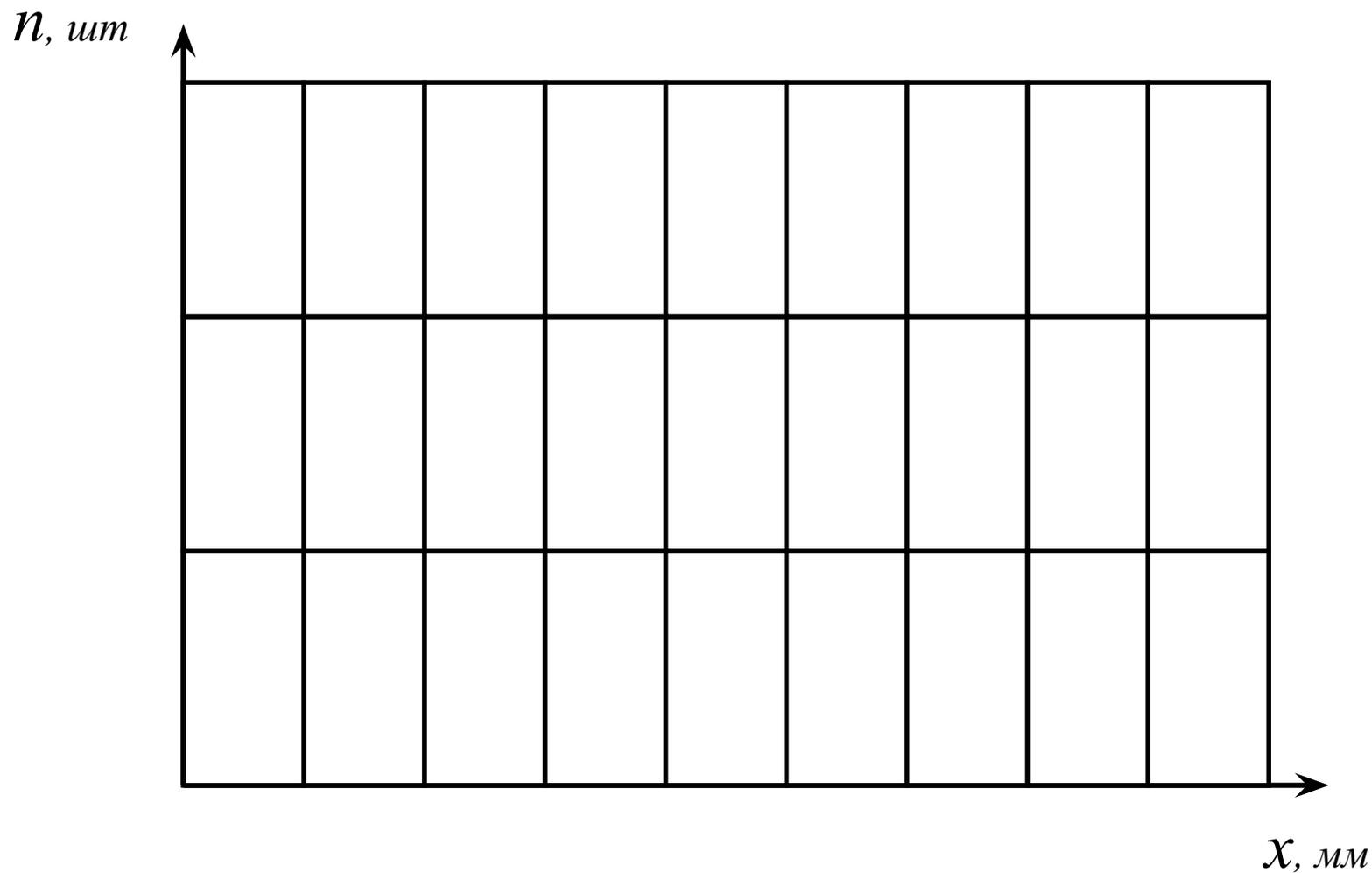
Причем в продукте, исходя из экономических соображений, допустимо оставить до 8-10% примеси. Все частицы имеют цилиндрическую форму и массу $m = 7 \cdot 10^{-6}$ кг, независимо от их размеров



Распределение примеси и продукта по толщине частиц в

| смеси | | Для примеси | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Граница интервала, мм | | 2-2,5 | 2,5-3 | 3-3,5 | 3,5-4 | 4-4,5 | 4,5-5 | 5-5,5 | 5,5-6 | 6-6,5 |
| Количество частиц в интервале, шт. | | 5 | 15 | 20 | 50 | 80 | 50 | 20 | 15 | 5 |
| | | Для продукта | | | | | | | | |
| Граница интервала, мм | | 5-5,5 | 5,5-6 | 6-6,5 | 6,5-7 | 7-7,5 | 7,5-8 | 8-8,5 | 8,5-9 | 9-9,5 |
| Количество частиц в интервале, шт. | | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 | 40 | 30 | 20 | 10 |

2. Строим гистограмму распределения размеров частиц



4. Определим математическое ожидание случайной величины (m_x) для примеси и продукта

$$m_x = \frac{P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 + \dots P_n \cdot x_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n}$$

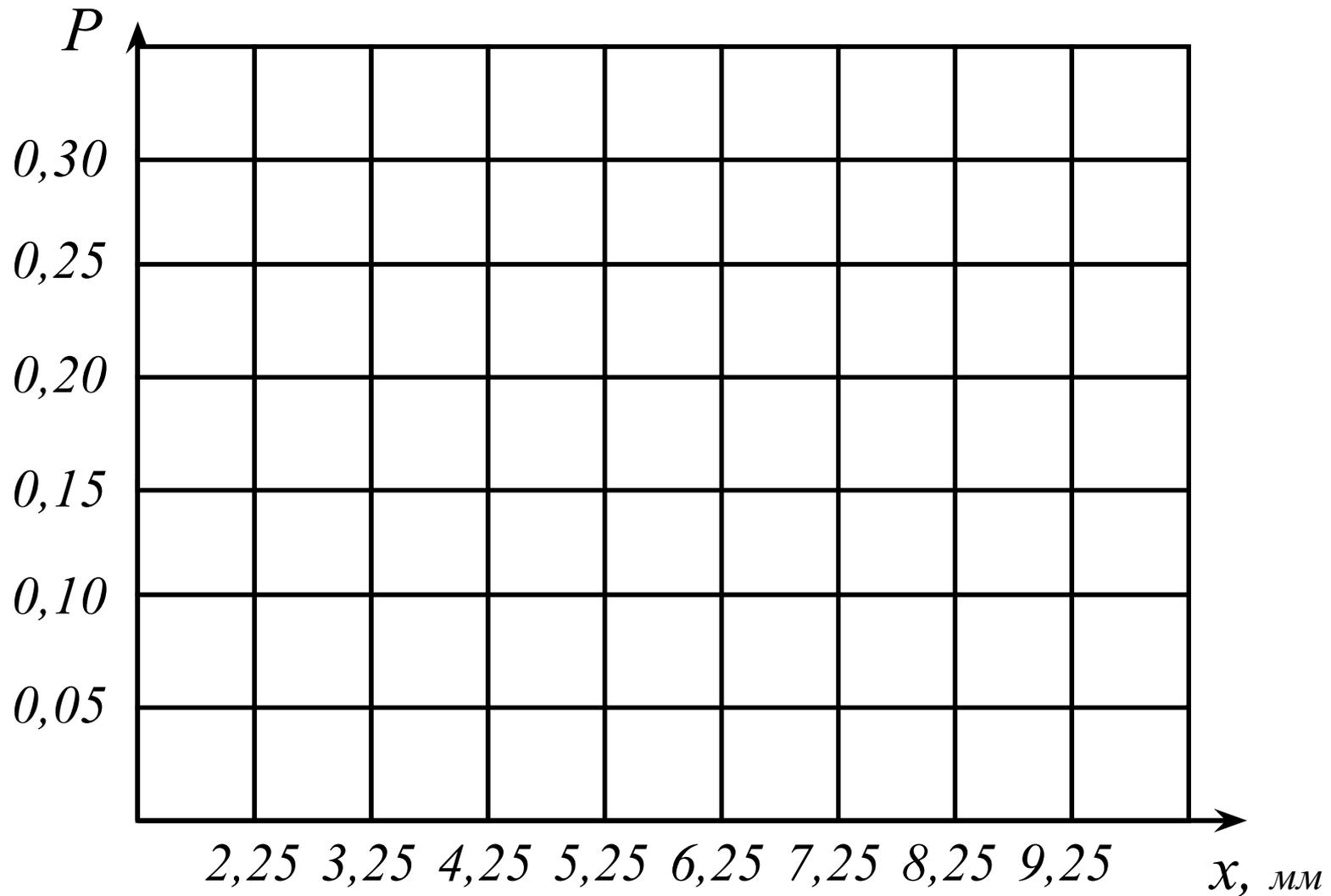
5. Определим дисперсию случайной величины:

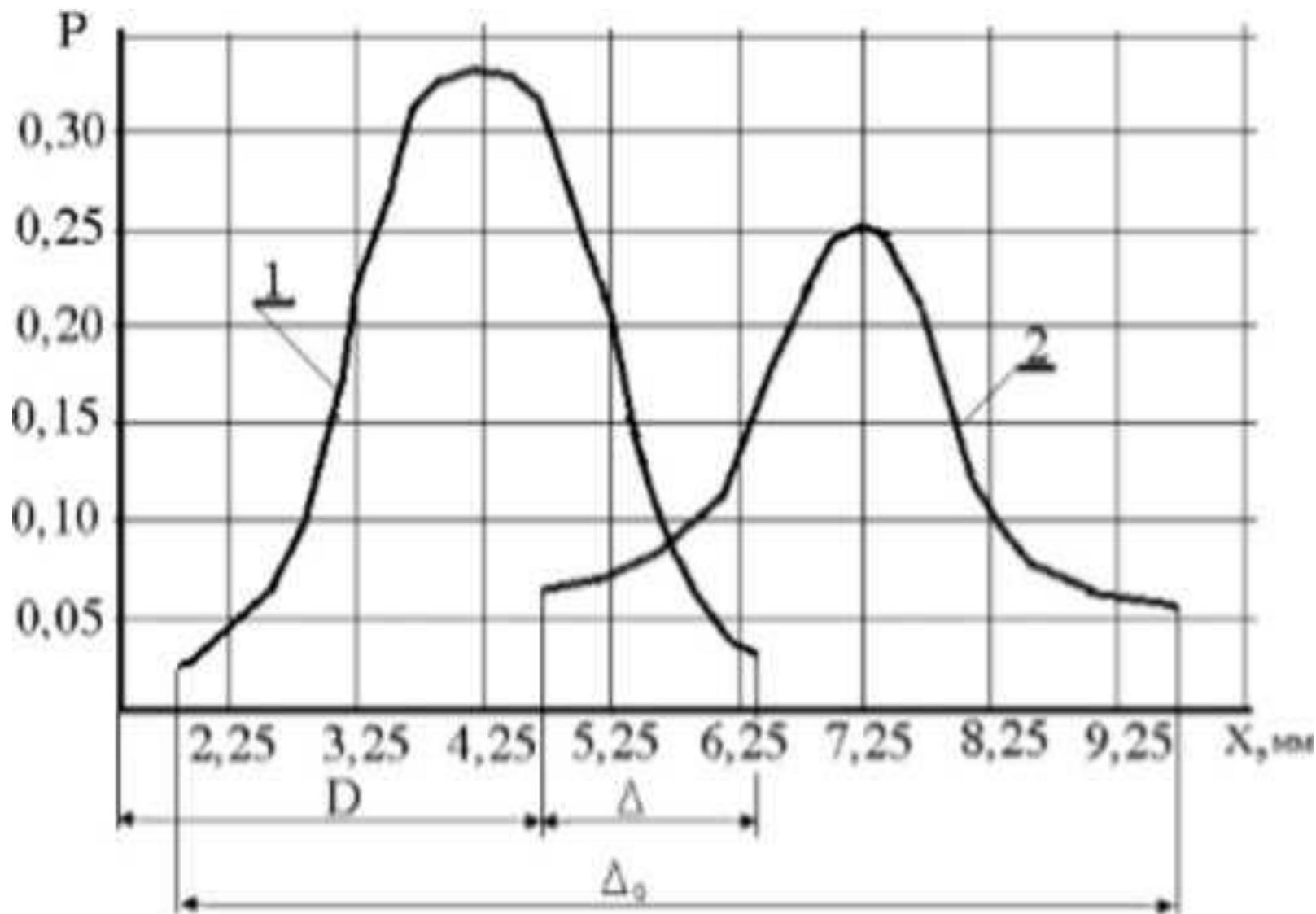
$$D(x) = \sum_{i=1}^9 (x_i - m_x)^2 \cdot P_i$$

6. Определим величину среднего квадратичного отклонения:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$$

7. Построим функцию распределения случайной величины





1 - примесь; 2 - продукт; D - величина делящего фактора;
 Δ - интервал перекрытия; Δ_0 - интервал распределения
 всей смеси

8. Определим вероятность попадания примеси в продукт по формуле:

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta_{\text{прим.}} - m_{\text{прим.}}}{\sigma_{\text{прим.}}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_{\text{прим.}} - m_{\text{прим.}}}{\sigma_{\text{прим.}}}\right).$$

где α – примерная точка пересечения кривых распределения примеси и продукта по оси x (из графика);

β – наибольший размер примеси;

σ – среднее квадратичное отклонение для примеси;

Φ – нормальная функция распределения $\Phi(x)$ – табличное значение.

9. Определим вероятность попадания продукта в примесь по формуле:

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta_{\text{прод.}} - m_{\text{прод.}}}{\sigma_{\text{прод.}}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha_{\text{прод.}} - m_{\text{прод.}}}{\sigma_{\text{прод.}}}\right).$$

где α – наименьший размер продукта;

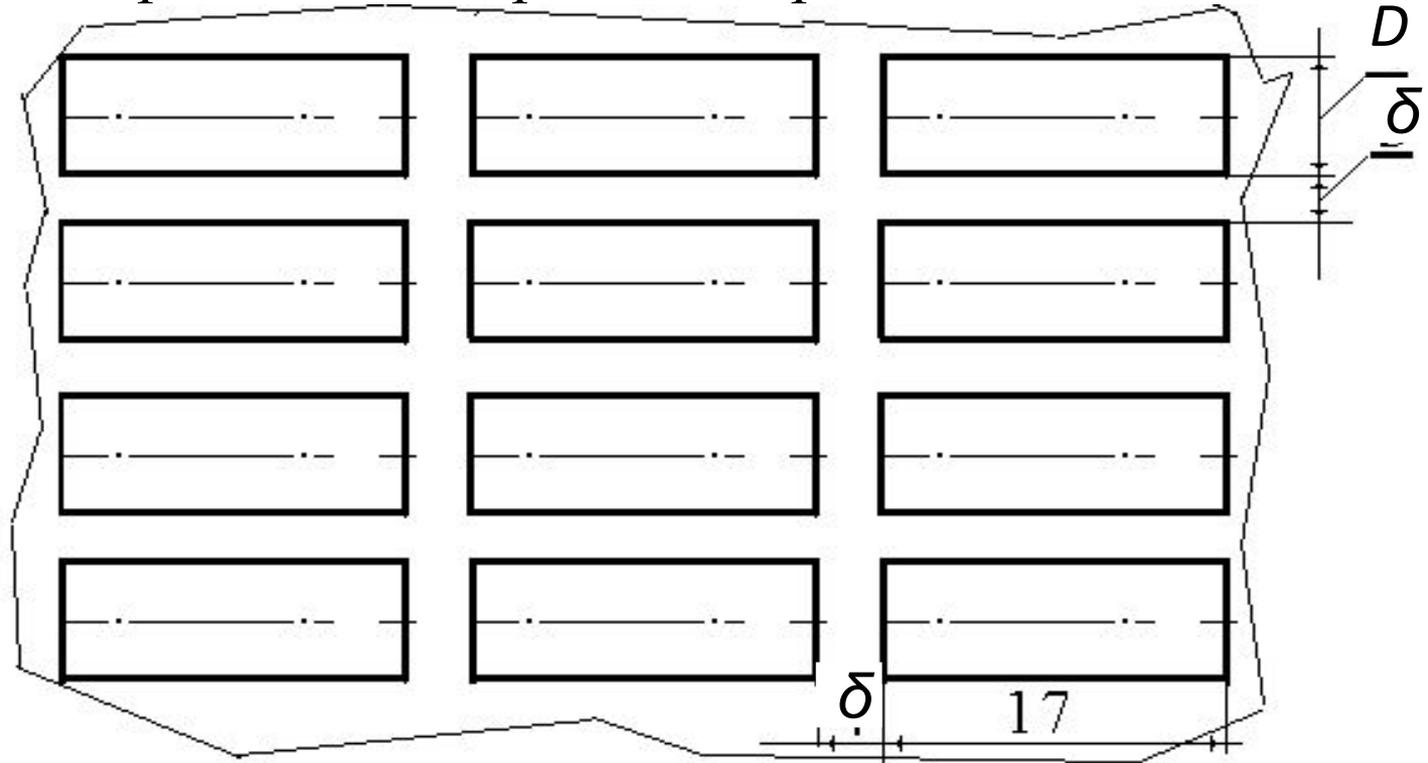
β – примерная точка пересечения кривых распределения примеси и продукта по оси x (из графика);

σ – среднее квадратичное отклонение для примеси;

Φ – нормальная функция распределения $\Phi(x)$ – табличное значение.

За оптимальный размер сита принимаем размер $\alpha_{\text{прим.}} = \beta_{\text{прод.}}$, удовлетворяющий условию задачи (8...10% примеси в продукте).

Фрагмент поверхности пробивного сита

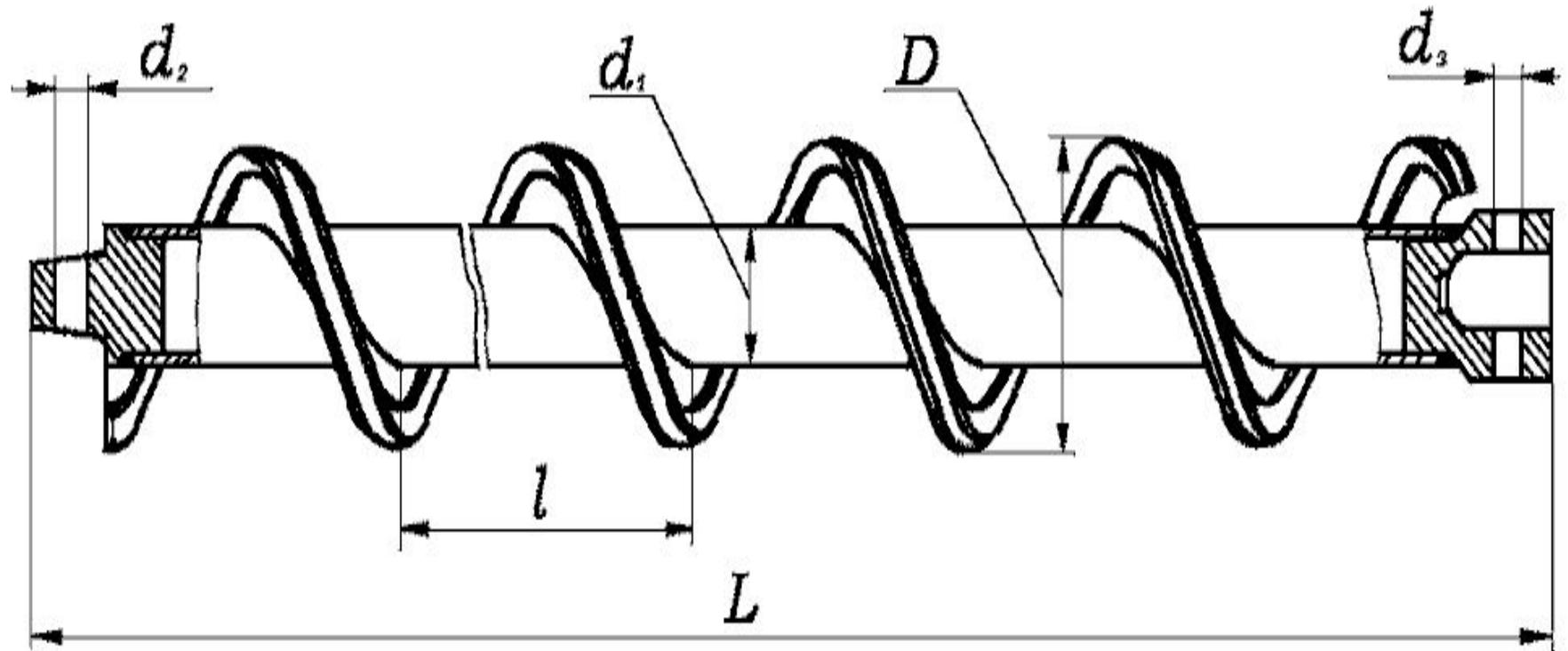


$$\varphi = \frac{F_0}{F} 100\% = 40 \dots 60\% \text{ - коэффициент живого сечения}$$

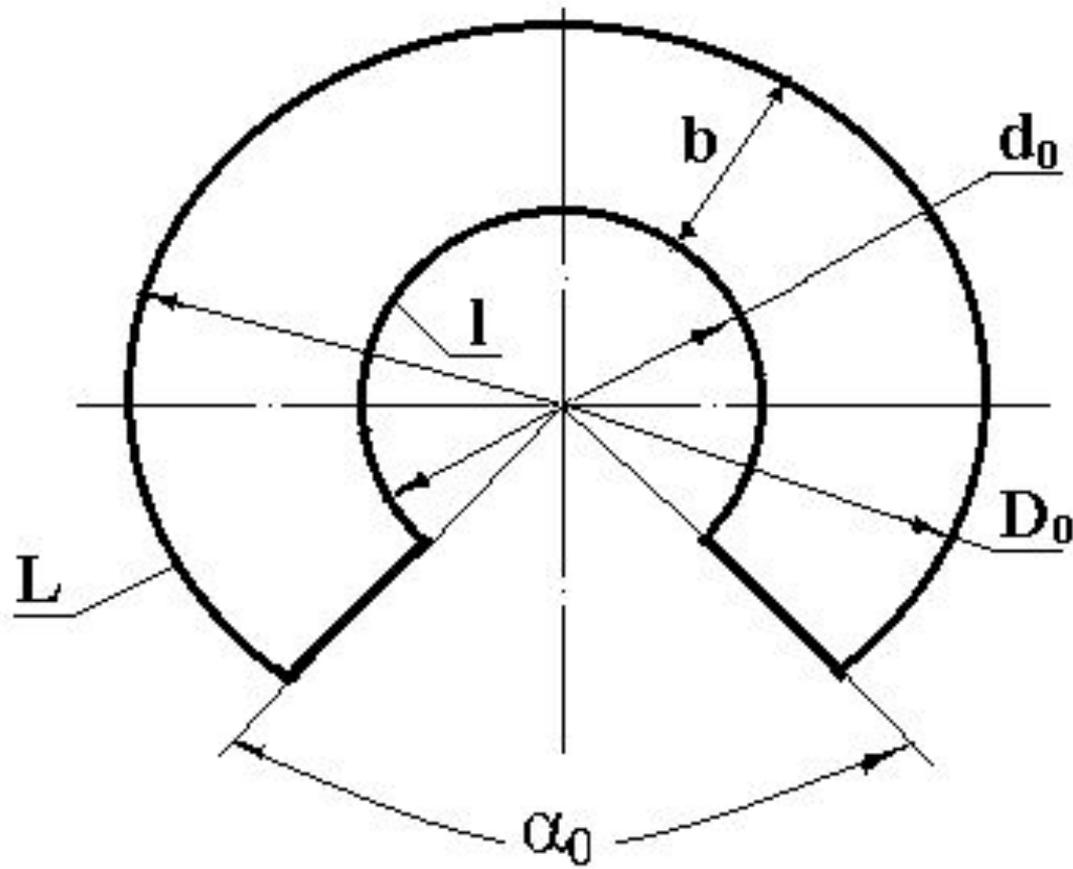
где F_0 – площадь отверстий сита;

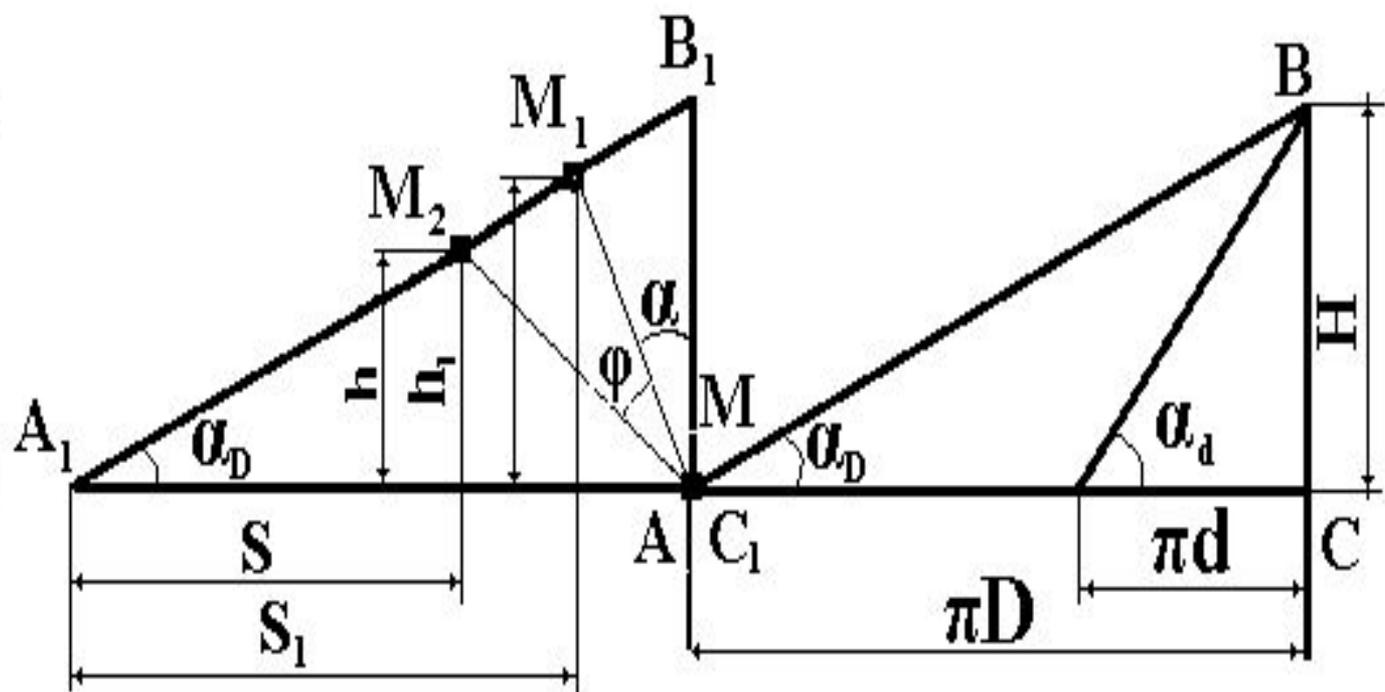
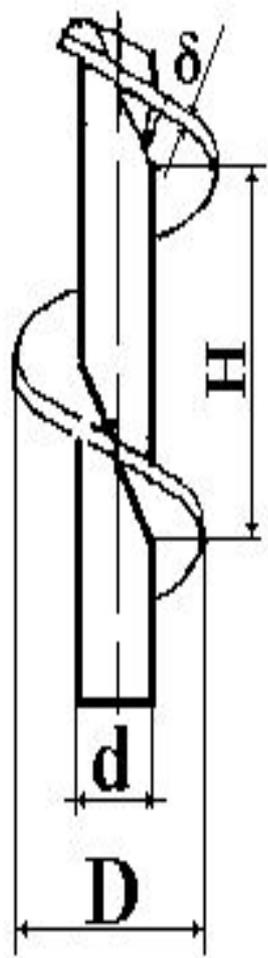
F – площадь всего участка сита.

Расчет шнекового транспортера



Кольцо-заготовка витка ишека.





З а д а ч а . Рассчитать шнековый транспортер, если известны производительность шнекового устройства $Q = 0,167$ кг/с, максимальное давление $p_{max} = 150$ кПа, коэффициент внутреннего трения продукта $f = 0,3$, плотность продукта $\rho = 900$ кг/м³.

Наружный диаметр шнека $D = 150$ мм.

Длина шнека $l = 720$ мм.

1. Рассчитаем шаг H винтов шнека, мм

$$H = (0,7 \dots 0,8) \cdot D = \text{мм.} \quad (1)$$

2. Определим предельный диаметр вала шнека d_{np} , м

$$d_{np} = \frac{H}{\pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

3. Используя рекомендации в соотношение диаметра шнека и вала $a = D/d = 1,8 \dots 3,0$ (14) рассчитаем диаметр вала шнека

$$d = \frac{D}{a} = \text{мм.} \quad (3)$$

4. Определим угол подъема винтовой линии по внешней стороне шнека

$$\alpha_D = \operatorname{arctg} \frac{H}{\pi D} =$$

5. Рассчитаем угол подъема винтовой линии внутренней стороне шнека

$$\alpha_d = \operatorname{arctg} \frac{H}{\pi \cdot d} =$$

6. Вычислим среднее значение угла подъема винтовых линий α_{cp} витка шнека

$$\alpha_{cp} = \frac{\alpha_D + \alpha_d}{2} =$$

7. Определим коэффициент отставания частиц материала при работе шнека

$$K_0 = 1 - \left(\cos^2 \alpha_{cp} - \frac{f \cdot \sin 2\alpha_{cp}}{2} \right) =$$

8. Определим величину изгибающего момента в витке по внутреннему контуру, т. е у вала шнека

$$M_u = \frac{P_{\max} \cdot D^2}{32} = H \cdot m / m.$$

9. М материал для изготовления шнека Ст.10, допустимое напряжение при изгибе которой

$$[\sigma_{из}] = 125 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

10. Рассчитаем толщину витка шнека δ

$$\delta = \sqrt{\frac{6 \cdot M_u}{[\sigma_{из}]} } = m.$$

11. Определим площадь внутренней цилиндрической поверхности корпуса устройства на длине одного шага

$$F_v = \pi \cdot D \cdot (H - \delta) = m^2.$$

12. Рассчитаем длину развертки винтовой линии по диаметру вала шнека

$$l = \sqrt{H^2 + (\pi \cdot d)^2} = m.$$

13. Определим длину развертки винтовой линии по наружному диаметру витков

$$L = \sqrt{H^2 + (\pi \cdot D)^2} = m.$$

14. Вычислим площадь поверхности витка на длине одного шага шнека

$$F_{\text{ш}} = \frac{1}{4\pi} \cdot \left(\pi \cdot D \cdot L - \pi \cdot d \cdot l + H^2 \ln\left(\frac{D+2L}{d+2l}\right) \right) = \text{м}^2$$

15. Проверим соотношение $F_{\text{ш}}$ и $F_{\text{в}}$, оно должно соответствовать условию $F_{\text{ш}} < F_{\text{в}}$

16. Определим значение крутящего момента при двух рабочих витках шнека

$$M_{\text{кр}} = 1,131 \cdot n \cdot p_{\text{max}} \cdot (D^3 - d^3) \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ср}} = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

17. Вычислим осевое усилие

$$S = 0,392 \cdot n \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_{\text{max}} = \text{Н}.$$

18. Определим нормальное напряжение $\sigma_{сж}$ в опасном сечении вала, ослабленном на 2 мм по диаметру в месте изготовления канавки для колец-заготовок ($d_{oc} = 0,05 - 0,002 = 0,048$ мм)

$$\sigma_{сж} = \frac{S}{F} = \text{МПа}.$$

19. Рассчитаем касательное напряжение в опасном сечении вала шнека

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \text{МПа}.$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$

20. Определим эквивалентное напряжение в опасном сечении вала шнека

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^2 + 4\tau^2} = \text{МПа}.$$

21. Эквивалентное напряжение для материала из Ст.10 находится в пределах допустимого значения $[\sigma] = 360$ МПа

22 Примем коэффициент заполнения межвиткового пространства равным единице ($\psi = 1$) и определим угловую скорость вращения шнека преобразовав выражение

$$\omega = \frac{Q}{0,125 \cdot (D^2 - d^2) \cdot (H - \delta) \cdot (1 - K_0) \cdot \rho \cdot \psi} = \text{рад / с}$$

23. Переведем угловую скорость ω , рад/с в об/мин.

$$n_{\text{шн}} = \frac{\omega \cdot 30}{3,14} = 8,9 \text{ об / мин.}$$

24. Определим число витков шнека m , шт

$$m = \frac{I}{H}$$

25. Рассчитаем ширину витков шнека

$$b = \frac{D - d}{2} = \text{м,}$$

26. Вычислим угол выреза в кольце заготовки

$$\alpha_0 = 2\pi - \frac{(L - l)}{b} = \text{рад,}$$

1 радиан равен углу $57^{\circ}18'$

27. Определим диаметр колец заготовки по внутреннему контуру

$$d_0 = \frac{2 \cdot l}{2\pi - \alpha_0} = m,$$

28. Рассчитаем диаметр колец заготовки по внешнему контуру

$$D_0 = \frac{2 \cdot L}{2\pi - \alpha_0} = m.$$

Расчет полого вала шнека:

1. Определим нормальное напряжение $\sigma_{сж}^m$ в трубе полого вала

$$\sigma_{сж}^m = \frac{S}{F} = \text{МПа},$$

где d_n - наружный диаметр трубы, м;

$d_в$ - внутренний диаметр трубы, м.

2. Рассчитаем касательное напряжение τ^m в трубе полого вала

$$\tau^m = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{M_{кр}}{\frac{\pi \cdot d_H^3}{16} - \frac{d_v^4}{d_H}} = \text{МПа.}$$

3. Вычислим эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{э}}^m$ в трубе полого вала

$$\sigma_{\text{э}}^m = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^m{}^2 + 4\tau^2} = \text{МПа.}$$

5. Если для удобства монтажа и надежности конструкции прочертить винтовую канавку глубиной $h = 0,5$ мм, то размер колец-заготовок изменится.