

# Расчет бункеров

## 1. Расчет давления материала на стенки бункера

Вертикальное давление материала на горизонтальную стенку

$$P_v = h\gamma, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Горизонтальное давление материала на вертикальную стенку

$$P_z = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = P_v m, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Нормальное давление

$$P_n = h\gamma(\cos^2 \alpha + m \sin^2 \alpha), \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Тангенциальное давление

$$P_T = h\gamma(1 - m) \cos \alpha \sin \alpha, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Песок формовочный сухой	1200
Песок кварцевый	1500 – 1600
Формовочная смесь сухая	1400
Формовочная смесь в разрыхленном состоянии W=4 – 5%	990 – 1100
Глина крупнокусковая	1000 – 1800
Глина порошкообразная	400 – 1280
Уголь молотый	600 – 800
Древесная мука	110 – 210
Опилки древесные	160 – 600
Пульвербакелит	600 – 1000
Кальцинированная сода	530
Докстрин	400 – 500
Вода при 15 <sup>0</sup> С	1000
Сульфитно-спиртовая барда	1250 – 1300
Жидкое стекло	1430 – 1550
Глинистая суспензия 20%-ная	1135
Глинистая суспензия 30%-ная	1170
Керосин	790 – 820
Мазут	910 – 950
Ацетон	790
Крепитель II	820 – 880
Растительное масло	933

Удельное давление на затвор, питатель, дозатор – формула Янсена для силосов

$$P_{затв} = \frac{\gamma \cdot R}{m \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

$$R = \frac{\text{площадь отверстия истечения}}{\text{периметр отверстия истечения}}$$

Эмпирическая формула Аумунда

$$P_{затв} = \frac{2}{3} \gamma, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Полное вертикальное давление для прямоугольных отверстий

$$P_{пр} = \frac{\gamma a^2 b^2}{2 f m (a + b)}, \quad \text{кг} / \text{м}^2$$

Полное вертикальное давление для цилиндрических отверстий

$$P_{ц} = \frac{\pi \gamma D^3}{16 fm}, \quad \text{кг / м}^2$$

Наибольшая сторона выпускного отверстия

$$a = k(z + 80) \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{мм}$$

## 2. Выбор угла наклона стенки бункера

Наименее вероятное зависание при максимальном отношении

$$\frac{P_T}{P_H} = \frac{(1 - m) \sin \alpha \cos \alpha}{\cos^2 \alpha + m \sin^2 \alpha} = \psi,$$

$$\alpha_{opt} = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

$\alpha$	30	35	40	45	50	55	60	65
$\phi = P_T/P_H$	0,407	0,479	0,546	0,616	0,676	0,732	0,768	0,778

### 3. Пропускная способность бункера

Нормальное истечение

$$v_{ист} = \lambda \sqrt{3,3gR}, \quad м / с$$

Гидравлическое истечение

$$v_{ист} = \lambda \sqrt{2gh}, \quad м / с$$

Пропускная способность или производительность бункера

$$\Pi = 3600Fv_{ист}, \quad м^3 / ч$$

#### 4. Расчет обшивки бункера

Максимальное давление на стенку

$$P_{cp} = \frac{P_H^I + P_H^{II}}{2}, \quad \text{кг / см}^2$$

Максимальный изгибающий момент

$$M_{изг} = \beta P_{cp} a^2 b, \quad \text{кг / см}$$

Для пластин с заземленными кромками

в/а	1	1,5	2	2,5
$\beta$	0,0513	0,0757	0,0829	0,0833

Для пластин опирающихся по контуру

в/а	1	1,5	2	2,5
$\beta$	0,0479	0,0812	0,1017	0,125

Момент сопротивления прямоугольного листа

$$W = \frac{B\delta^2}{\sigma}, \quad \text{см}^3$$

Откуда:

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W} = \frac{6\beta P_{cp} a^2}{\delta^2} \leq [\sigma], \quad \text{кг / см}^2$$

Или с учетом запаса толщины на коррозию

$$\delta = a \sqrt{\frac{6\beta P_{cp}}{[\sigma]}} + (0,1 \div 0,2), \quad \text{см}$$

Максимальное напряжение на расстоянии  $y=3/4h$

$$\sigma_{1\max} = \frac{3 \cdot \gamma \cdot h^2}{16 \cdot \delta \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \quad \text{кгс / см}^2$$

Максимальное напряжение на расстоянии  $y=1/2h$

$$\sigma_{2\max} = \frac{\gamma \cdot h^2 (\cos^2 \alpha + m \sin^2 \alpha)}{4 \cdot \delta \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha} \leq [\sigma], \quad \text{кгс / см}^2$$

В случае цилиндрического бункера

$$\sigma_{1\max} = \frac{R\gamma}{2\delta} \left( h_1 + \frac{h_2}{3} \right) \leq [\sigma], \quad \text{кг/см}^2$$

$$\sigma_{2\max} = \frac{\gamma \cdot h_1 \cdot mR}{\delta} \leq [\sigma], \quad \text{кг/см}^2$$

В конической части (необходимо чтобы  $h_1$  не превышала  $1/3h_2$ )

$$\sigma_1 = \frac{3\gamma(h_1 + h_2)}{16\delta \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha} \leq [\sigma], \quad \text{кг/см}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{\gamma \cdot (h_1 + h_2)^2 (\cos^2 \alpha + m \sin^2 \alpha)}{4 \cdot \delta \cdot \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha} \leq [\sigma], \quad \text{кг/см}^2$$