

# Силосы

Выполнили студентки гр.103

Кальгина А.И.

Сидорова К.С.

Проверил Макаров А.Д.

**Силосы** – это инженерные сооружения, предназначенные для хранения сыпучих материалов, в том числе, цемента, высота которых превышает больший размер в плане более чем в 1,5 раза. Наиболее распространены силосы круглого и прямоугольного (квадратного) поперечного сечения.





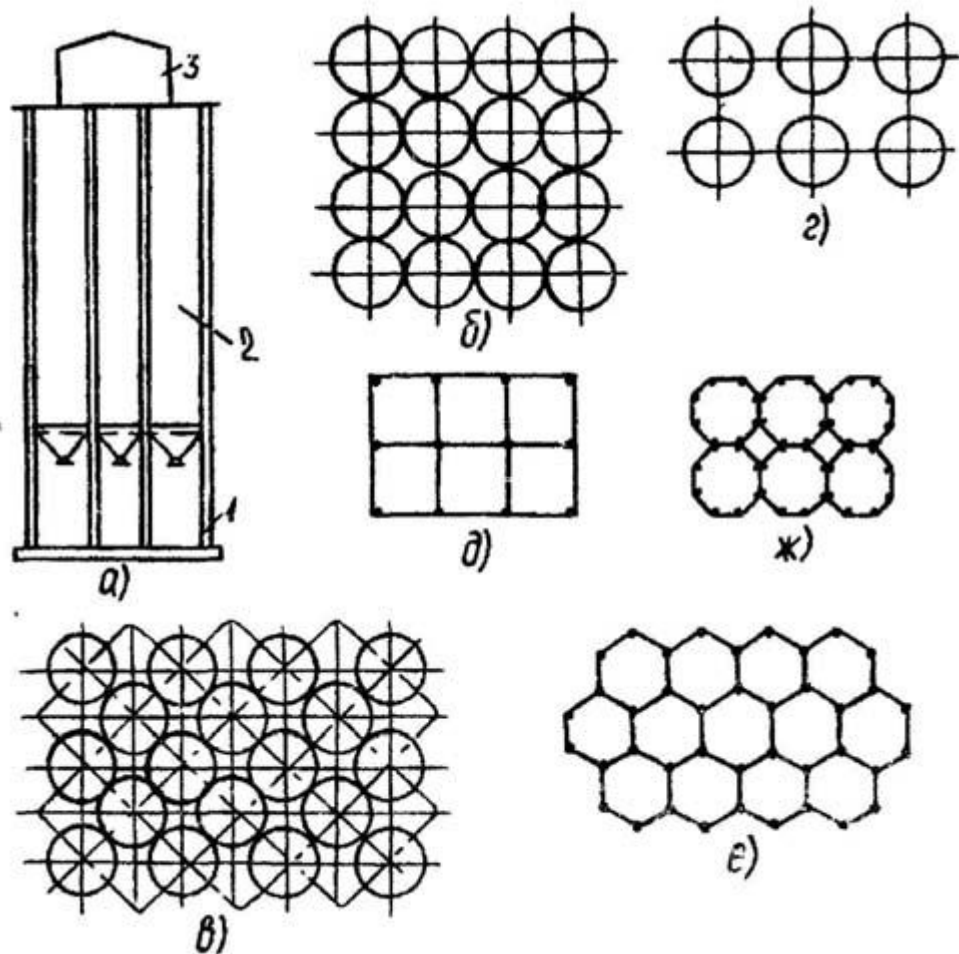
**Силосный корпус (силкорпус)** — часть элеватора, постройка, состоящая из системы силосов, снабжённая механизмами перемещения зерна.

Силосный корпус состоит из ряда или нескольких рядов силосов — больших ёмкостей, в которых хранится цемент и различные сыпучие материалы. Механизмы перемещения цемента состоят из транспортёрной ленты и подвижных устройств приёма/ссыпания цемента.

# Свойства сыпучих материалов

- насыпная плотность  $\gamma$ ,
- угол внутреннего трения  $\phi$ ,
- коэффициент трения сыпучего материала о стены силоса  $\mu$
- коэффициент бокового давления  $\lambda$ .

По форме в плане силосы бывают круглыми, квадратными, прямоугольными, шестигранными и многогранными.



Наиболее рациональной является круглая, при которой стенки работают преимущественно на растяжение. Предварительное обжатие стенок в этом случае наиболее простое.

Высота силосов обычно до 30 м, а при строительстве на скальных грунтах – до 42 м.

# Преимущества силосов

- легкая разгрузка силосов самотеком , что освобождает от дополнительных энергозатрат;
- силосы для хранения зерна оснащены датчиками влажности, температуры, уровня загрузки и пр., что позволяет легко контролировать процесс хранения;
- силосы для хранения цемента возводятся достаточно быстро и легко поддаются ремонту, благодаря их несложной конструкции;

# Разновидности силосов



Конусный



Экспедиторский



Плоскодонный

## Силос конусный

Силосы с конусным основанием предназначены для использования с последующей самотечной высыпкой без участия дополнительных выгрузных систем.

Используются для временного хранения материала перед техническим процессом.

Конусное дно имеет исполнение для сыпучих продуктов  $45^\circ$ , для сырого или трудно сыпучего –  $60^\circ$  и  $66^\circ$ .

Вместимость конусных силосов от 30,77 до 944 м<sup>3</sup>.







## Силос экспедиторский

Экспедиторские силосы предназначены для накопления сырья в силосе и отгрузке его на авто- и ж/д транспорт, тракторные тележки.

Силосы комплектуются конструкциями для проезда транспорта, по желанию заказчика возможно укомплектовать системой измерения веса. Вместимость экспедиторских силосов – до 667 м<sup>3</sup>.

## Силос плоскодонный

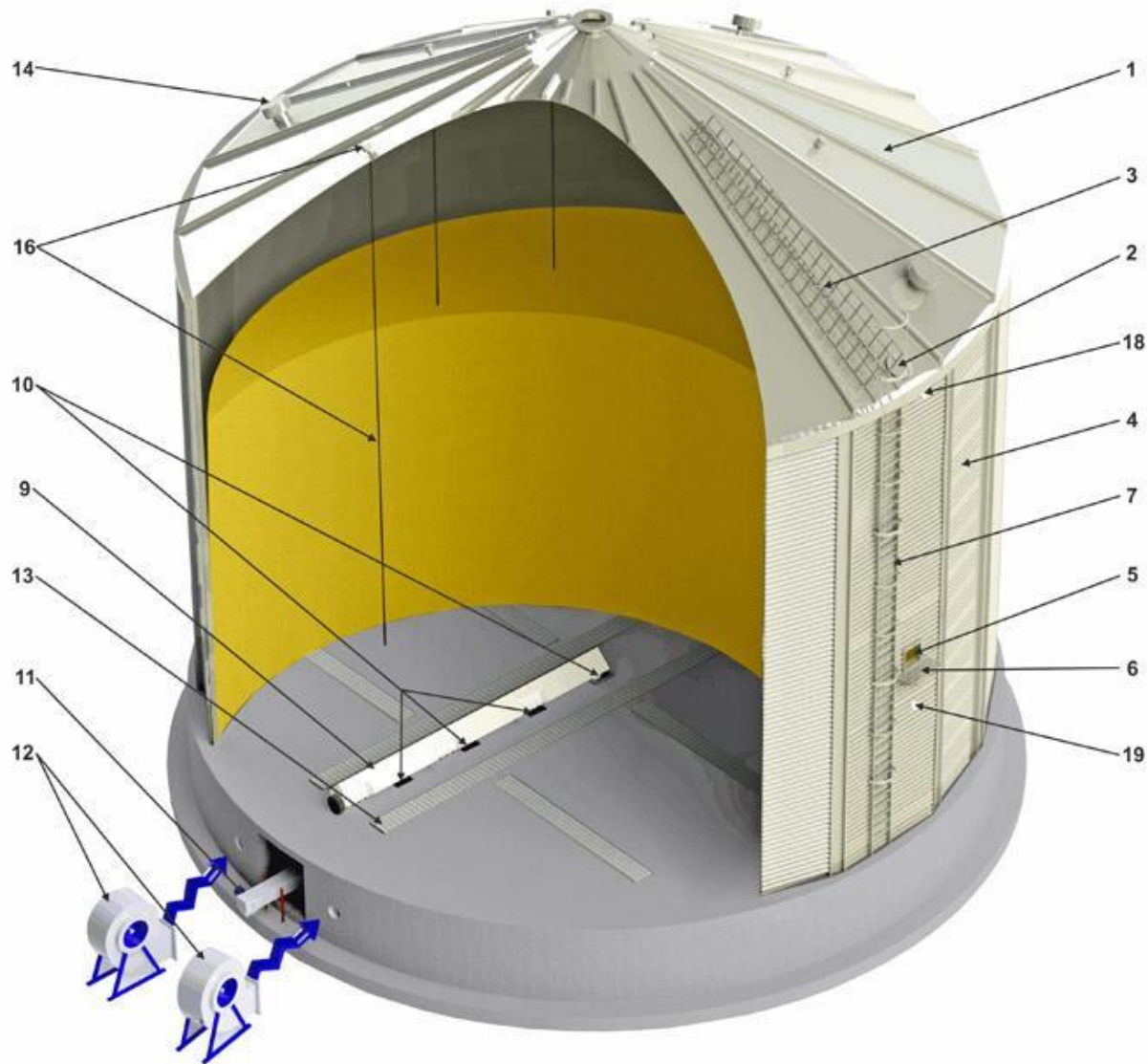
Вентилируемые силосы с плоским дном гарантируют безопасное и длительное хранение цемента. Крыша и герметичный корпус защищают цемент от атмосферных осадков.

Силосы позволяют хранить цемент длительное время благодаря наличию системы термометрии и активной вентиляции.

Вместимость плоскодонных силосов - от 88 до 17 081 м<sup>3</sup>.



# Комплектация плоскодонного силоса



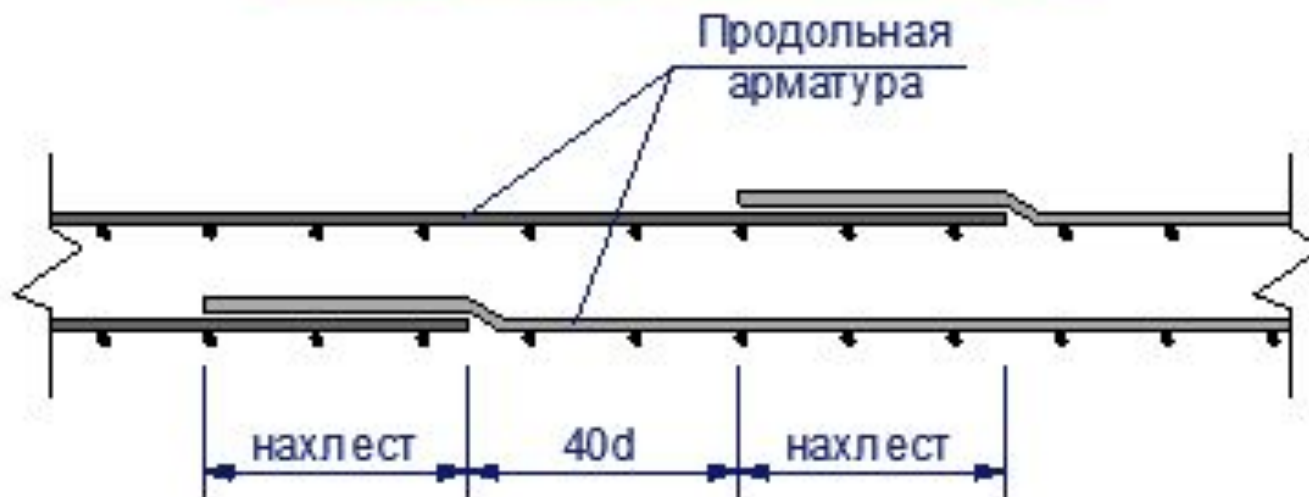
# Конструкции силосов

Монолитные железобетонные силосы возводят в скользящей опалубке из бетона класса не ниже В15. Минимальная толщина стенок таких силосов устанавливается из условия недопущения разрывов в бетоне при перемещении опалубки. При диаметре силосов 6 м толщина стенок составляет 160...180 мм, при диаметре 12 м – 240 мм, для прямоугольных силосов – 150...160 мм.

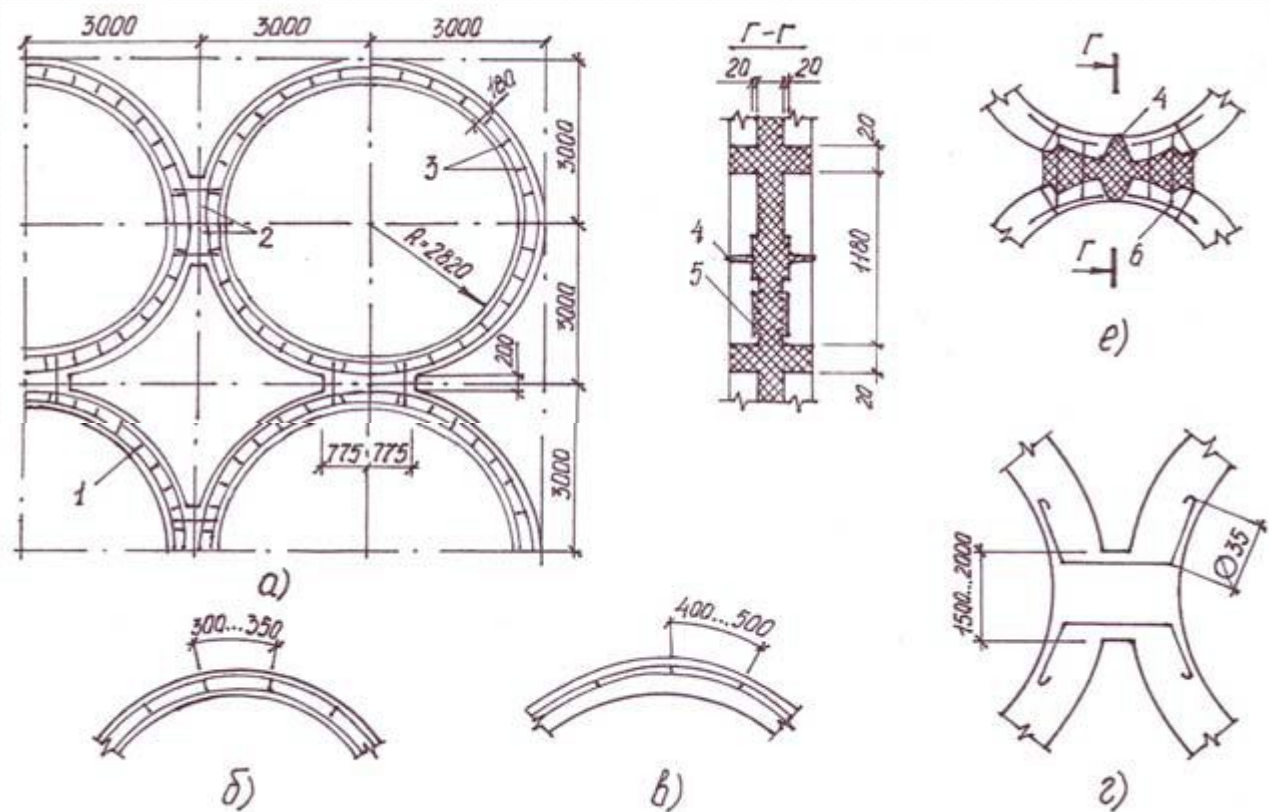


Стены армируют преимущественно стержневой арматурой класса А300 в виде вязанных сеток. Стыки рабочей горизонтальной арматуры обычно выполняют внахлестку. В одном вертикальном сечении быть не более 25 % стыков. Внутренние банки силосных корпусов, а также – отдельные цилиндрические силосы диаметром до 6 м и более армируют одиночной арматурой. Наружные силосы корпусов на 2/3 высоты (от низа) армируют двойной арматурой, а в верхней части – одиночной арматурой.

### Схема нахлеста арматуры

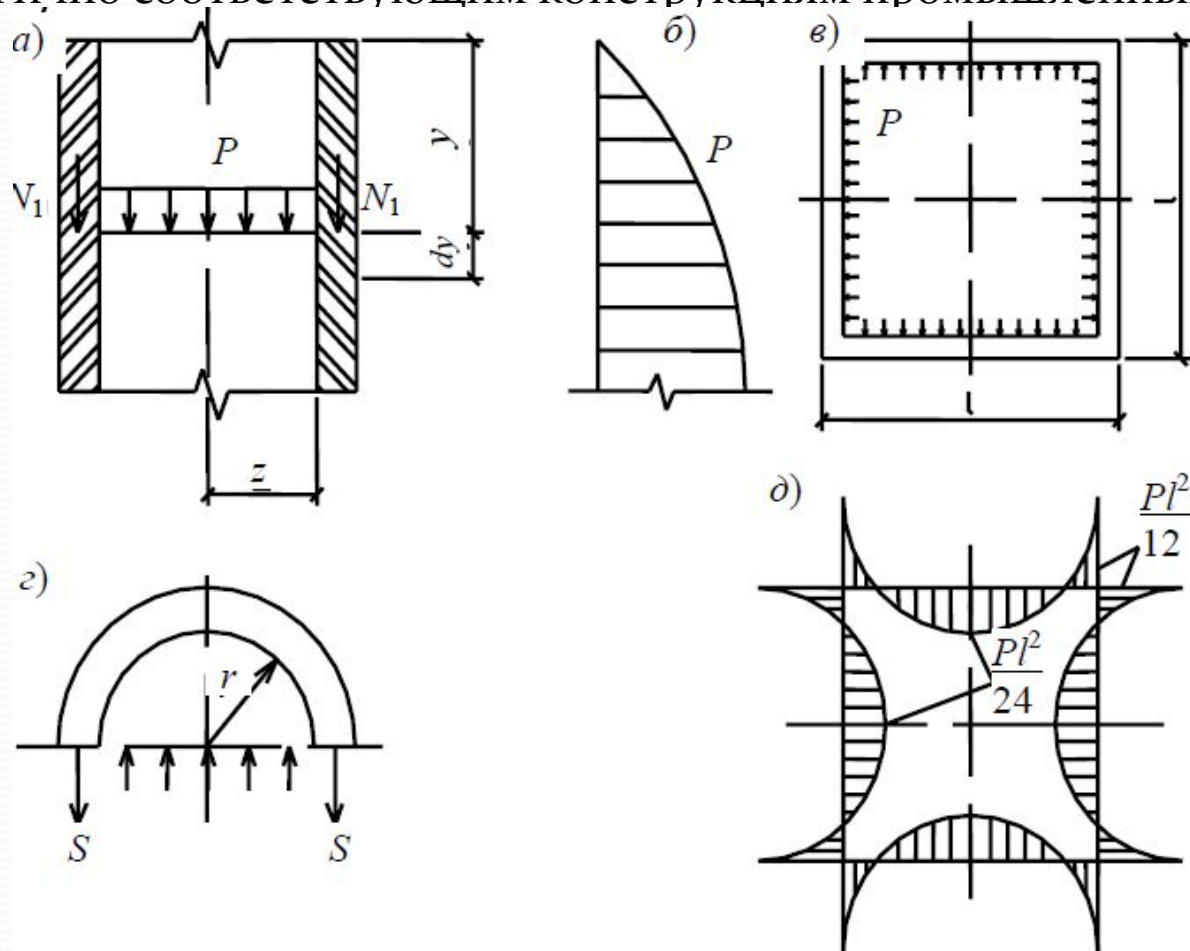


Места сопряжения соседних силосов армируют дополнительными стержнями, диаметр и шаг которых принимают такими же, как и для основной кольцевой арматуры. Стены прямоугольных силосов из сборного железобетона могут собираться из отдельных плоских плит, пространственных блоков, Г-образных, Т-образных, крестовых элементов.



# Основные положения расчетов силосов

Выполняют расчет стенок, днища, воронки, колонн, фундамента, покрытия. Все конструкции силосов, кроме стенок, рассчитывают аналогично соответствующим конструкциям промышленных зданий.



# Пример расчета железобетонного силоса

Требуется рассчитать стену и фундамент отдельно стоящего монолитного круглого силоса для хранения гашеной извести в порошке. Диаметр силоса 6 м, высота 15 м. Силос возводится в скользящей опалубке. Фундамент принят в виде монолитной круглой плиты, покрытие и галерея из сборных элементов (рис. 2.4).

## **Расчет стенки силоса.**

Исходные данные:  $H_{ст} = 15$  м,  $D_{н} = 6$  м,  $\gamma = 7$  кН/м<sup>3</sup>;  $\phi = 35^\circ$ ,  $\mu = 0,5$ ,  $\lambda = 0,271$ .



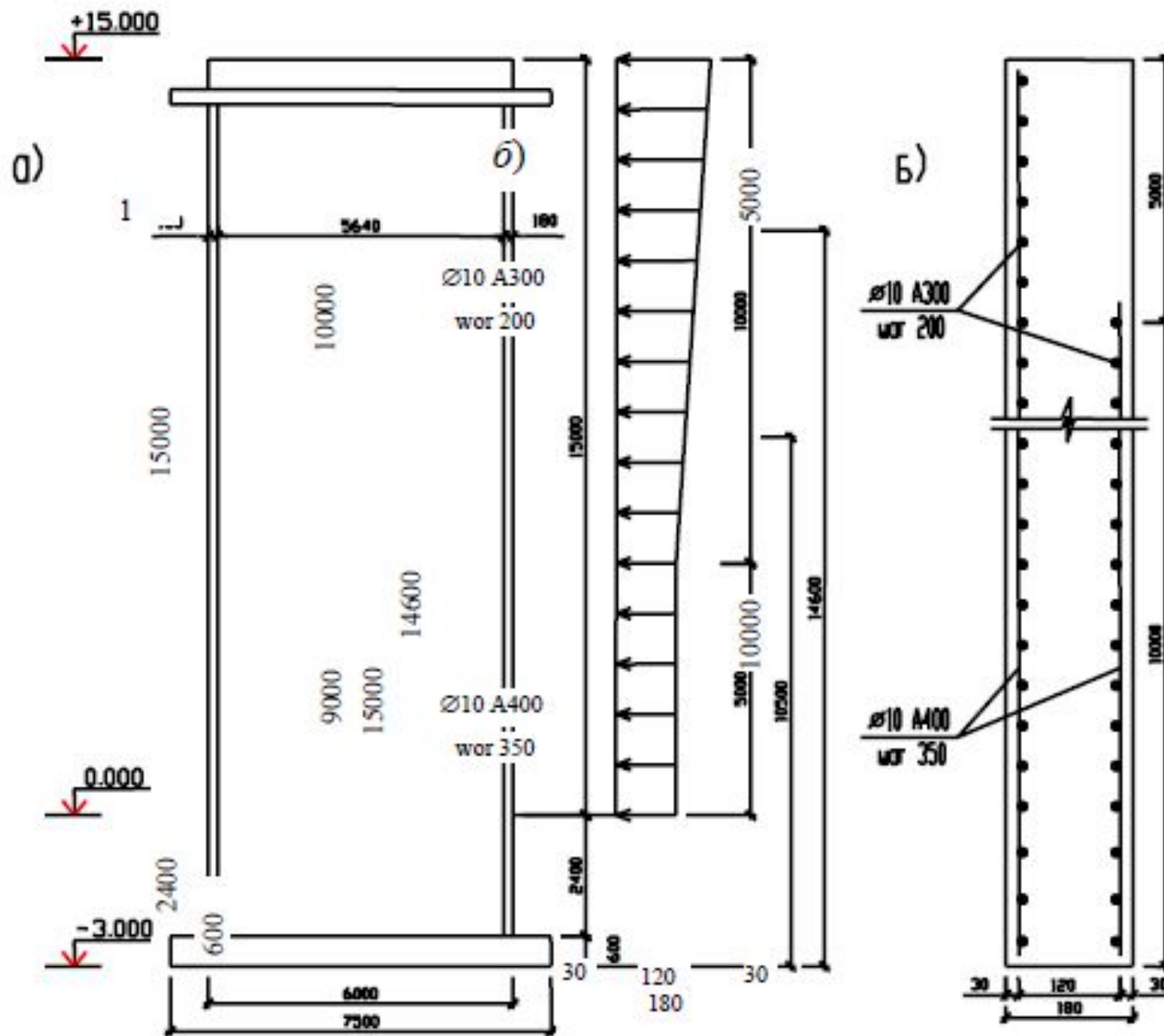


Рис. 2.4. К расчету монолитного силоса:  
 а – геометрические размеры, б – схема армирования стенки

Принимаем кольцевую горизонтальную арматуру класса А300 с  $R_s = 270$  МПа, а вертикальную класса А400 с  $R_s = 225$  МПа; бетон класса В-20 с  $R_b = 11,5$  МПа. Толщина стены 180 мм. Определяем нагрузки, действующие на стенки силоса. Нормативное горизонтальное и вертикальное давление, передающиеся на стенки силоса от трения сыпучего материала, определяют по формулам:

$$p^H = a \frac{\gamma r}{\mu} \left( 1 - e^{-\lambda \mu \frac{y}{r}} \right);$$
$$p_v^H = \frac{p^H / \lambda}{\lambda}.$$

Гидравлический радиус  $r = D_{в}/4 = 5,64 / 4 = 1,41$  м;  $D_{в} = 6 - 2 \cdot 0,18 = 5,64$  м – внутренний диаметр силоса;  $e = 2,718$ ;  $y$  – глубина сыпучего материала, м. При расчете нижней зоны стенки на высоту  $2/3 H$  коэффициент  $a = 2$ ; верхней – на  $1/3 H$   $a = 1$ ; стенок на сжатие  $a = 1$ .

Для получения расчетных значений  $p$  и  $p_v$  нормативные значения умножаются на  $\gamma_f = 1,3$ . Расчетное кольцевое усилие в стенке определяют по формуле

$$S = p^H \gamma_f R / \gamma_c;$$

$$R = 5,64 / 2 = 2,82 \text{ м.}$$

Площадь арматуры  $A_s = S / R_s$ . Кольцевую арматуру подбираем на центральное растяжение от силы  $S$ . Для этого стенку по высоте разбиваем на зоны высотой по 5 м. Расчеты горизонтальных и вертикальных давлений, подбор кольцевой арматуры приведен в табл. 2.1. Произведем расчет стенки в вертикальном направлении. Расчетная вертикальная нагрузка от веса галереи, покрытия, оборудования и снега принимается для данного примера в размерах 40 кН на 1 м периметра верха стены. Расчетное вертикальное усилие от веса стенок силоса:

$$N_g = h \gamma H \gamma_f$$

где  $h = 0,18$  м – толщина стенки силоса;  $\gamma = 25$  кН/м<sup>3</sup> – удельный вес железобетона;  $\gamma_f = 1,3$  – коэффициент надежности по нагрузке.

$$N_g = 0,18 \cdot 15 \cdot 1,3 \cdot 25 = 87,75 \text{ кН/м.}$$

Расчетное вертикальное усилие, возникающее от трения сыпучего материала о стенки силоса:

$$N_p = \frac{0,9 \cdot 5,64}{4} \cdot (7 \cdot 15 \cdot 1,3 - 78,32) = 73,8 \text{ кН/м.}$$

Глубина сыпучего материала, м	$p^H$ , кН/м <sup>2</sup>	$p$ , кН/м <sup>2</sup>	$p_v$ , кН/м <sup>2</sup>	$S$ , кН/м	Требуемая площадь арматуры $A_s$ , см <sup>2</sup> /м	Армирование
5	7,52	9,78	19,56	27,6	0,98	1Ø10 А300 шаг 200
10	24,36	31,67	63,34	89,31	3,19	2Ø10 А300 шаг 200
15	30,12	39,16	78,32	110,44	3,94	2Ø10 А300 шаг 200

Для  $y = 15$  м (место сопряжения стенки с фундаментом) полное расчетное вертикальное давление будет  $N = 40 + 87,75 + 73,8 = 201,55$  кН/м. В месте сопряжения стенки силоса и фундамента возникает изгибающий момент, максимальное значение которого можно найти по формуле

$$M_{\max} = -\frac{P_{\max}}{2m^2} \left( 1 - \frac{1}{mH} \right),$$

где  $p_{\max} = 39,16$  кН/м<sup>2</sup> – давление в месте сопряжения стенки и фундамента,  $m$  – характеристика жесткости стенки

Изгибающий момент  $M_{\max} = 39,16 / 2 \cdot 1,8^2 \cdot (1 - 1/1,815) = 15,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Зная значения продольной силы и изгибающего момента, производим расчет вертикальной арматуры как для внецентренно сжатого элемента. Расчетное сечение условно рассматриваем как прямоугольное  $b \times h = 100 \times 18 \text{ см}$ .

Определяем относительную величину продольной силы

$$\alpha_n = \frac{N}{\gamma_{B_2} R_B b h_0} = \frac{201,55 \cdot 10}{0,9 \cdot 11,5 \cdot 100 \cdot 15} = 0,129,$$

$\gamma = 0,9$  – для стен монолитных силосов. Так как  $\alpha_n = 0,129 < \xi_r = 0,531$  (для арматуры А400), то площадь симметричной арматуры по формуле

$$A_s = A'_s = \frac{\gamma_{B_3} R_B b h_0}{R_s} \frac{\alpha_{m_1} - \alpha_n (1 - \alpha_n / 2)}{1 - \delta},$$

где  $\delta = a' / h_0 = 3/15 = 0,2$ ;

$$\alpha_{m_1} = \frac{M + N(h_0 - a')/2}{\gamma_{B_3} R_B b h_0^2} = \frac{15,4 \cdot 10^2 + 201,55 \cdot (15 - 3)/2}{0,9 \cdot 11,5 \cdot 100 \cdot 15^2 \cdot 0,1} = 0,118;$$

$$A_s = A'_s = \frac{0,9 \cdot 11,5 \cdot 100 \cdot 15}{355} \cdot \frac{0,118 - 0,129 \cdot \left(1 - \frac{0,129}{2}\right)}{1 - 0,2} < 0.$$

Арматура ставится конструктивно. принимаем  $\varnothing$  10 А400 с шагом  $S = 350 \text{ мм}$ .  
Схема армирования показана на рис. 2.4.



The background features a collage of blue-toned images: a clock face with numbers 4, 5, and 6; a fountain pen; and a magnifying glass. The text is centered in a bold, blue, serif font with a slight drop shadow.

**Спасибо за  
внимание!**