

Силосы и бункеры

Работу выполнили
студенты группы
ПГС-2:

Богоста П. Ю.
Рейзина К. А.
Ямова Е. И.

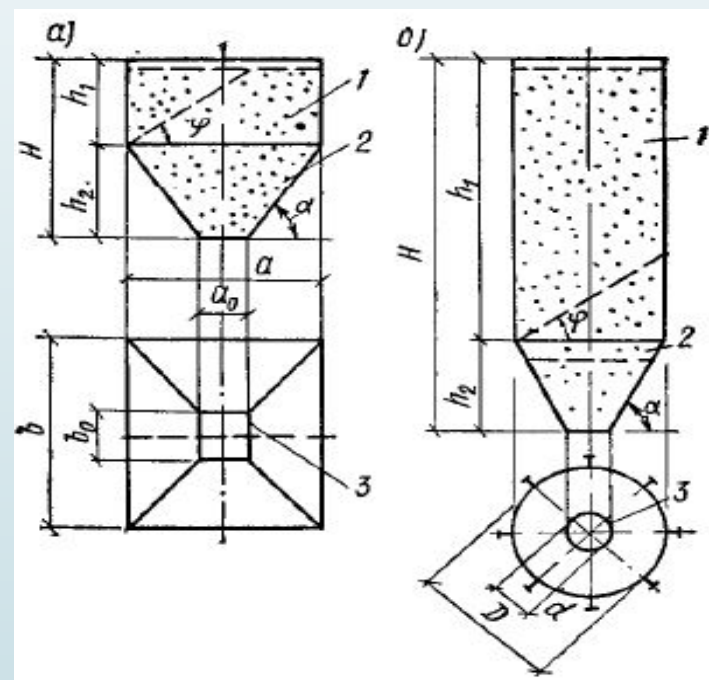


Общие сведения о сооружении.

Бункерами и силосами называют емкости, предназначенные для хранения и перегрузки сыпучих материалов.

Схемы бункера (а) и силоса (б):

Хранилища, в которых высота стенки (H) не превосходит полуторного наименьшего поперечного размера (D), называют **бункерами**. Более высокие хранилища называют **силосами**.



1 - верхняя часть; 2 - воронка;

3 - выпускное отверстие.

Классификация бункеров.

Бункеры применяются в установках трех типов:

- **аккумулирующие** – для хранения насыпных грузов, снабжены устройствами для загрузки и разгрузки емкостей; устройствами для измерения массы и др.;
- **уравнительные** – промежуточные емкости для насыпных грузов;
- **технологические** – для временного хранения промежуточных продуктов переработки.

По характеру расположения в производстве бункеры подразделяются на:

- **надземные**, выполненные из листовой стали или легкого бетона;
- **подземные** – углубленные в грунт, выполненные из железобетона.

По типу несущих конструкций различаются:

- **железобетонные;**
- **стальные;**
- **комбинированные бункера.**

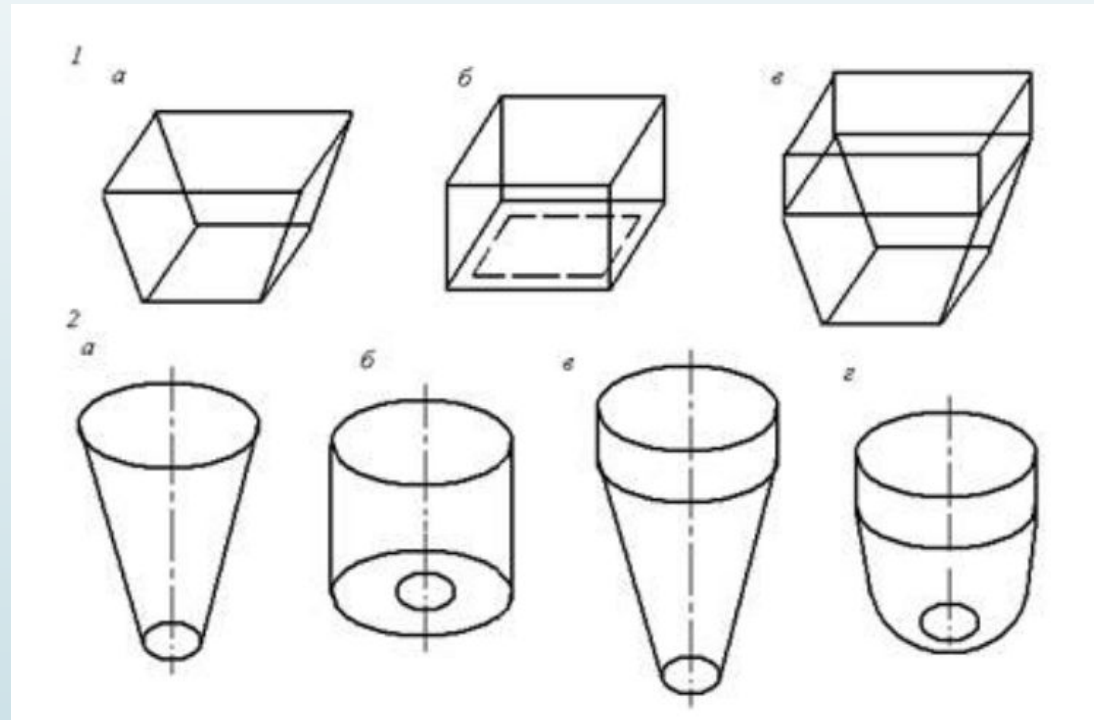
По форме бункеры подразделяются на:

- **прямоугольные;**
- **круглые.**

Классификация бункеров.

Форма бункеров зависит от назначения бункера, компоновки сооружения, требуемого запаса материала, физических свойств сыпучего материала, типа несущих конструкций и др.

Наиболее широкое распространение получили следующие бункеры:



1 – **прямоугольные**: а – пирамидальные; б – прямоугольные; в – комбинированные;
2 – **круглые**: а – конические; б – цилиндрические; в – коническо-цилиндрические;
г – цилиндро-сферические.

Виды бункеров.

Бункера должны проектироваться, как правило, железобетонными. Стальными допускается проектировать воронки, сужающиеся части бункеров, параболические (висячие) бункера, а также бункера, которые по технологическим условиям подвергаются механическим, химическим и температурным воздействиям сыпучего материала и не могут быть выполнены из железобетона.

Рекомендуемые виды бункеров: пирамидально-призматические (рис. [1](#)), лотковые (рис. [2](#)), конусно-цилиндрические (рис. [3](#)), гибкие (параболические) (рис. [4](#)).

Виды бункеров.

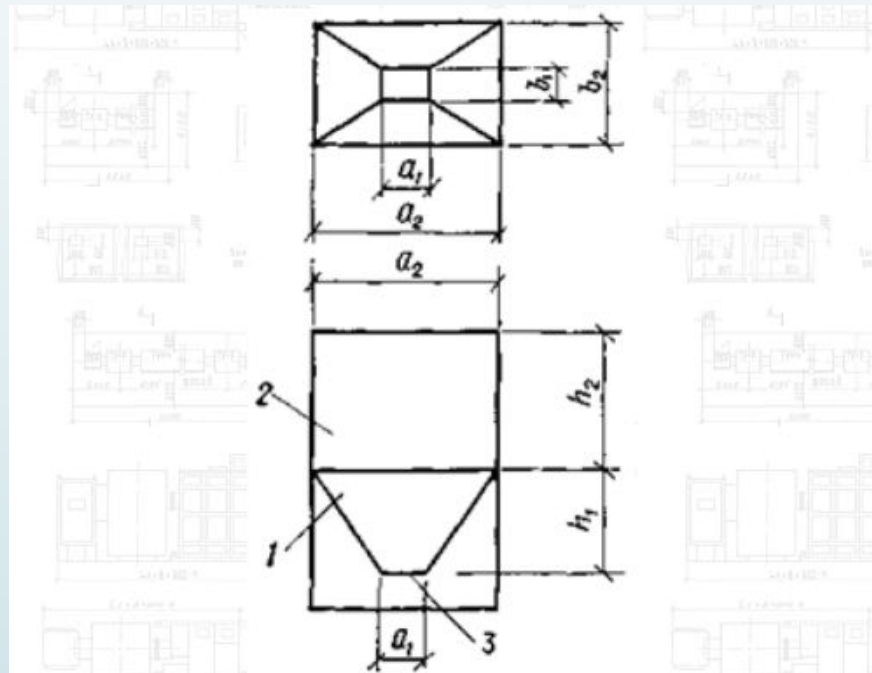


Рис. 1. Пирамидально-призматический бункер

1 - нижняя часть в виде пирамидальной воронки; 2 - верхняя часть с вертикальными стенками; 3 - выпускное отверстие

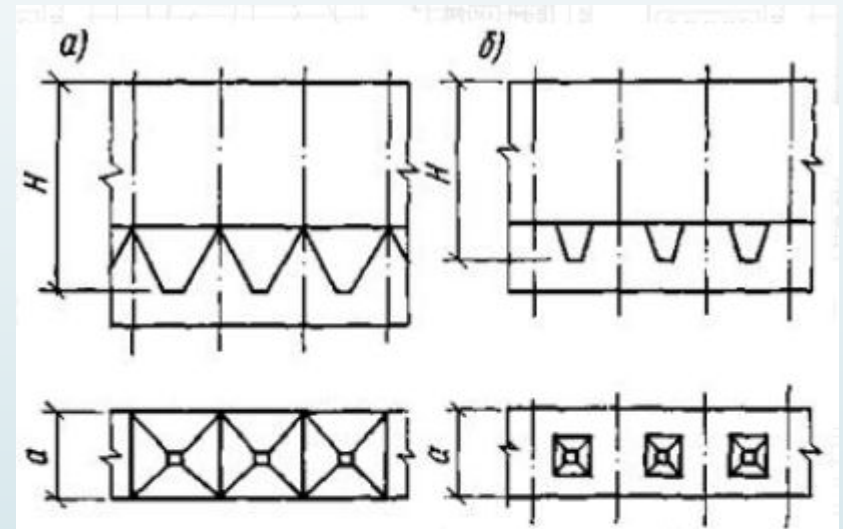


Рис. 2. Лотково-призматический бункер

а - с пирамидальными воронками по всей площади днища; б - с местными воронками

Виды бункеров.

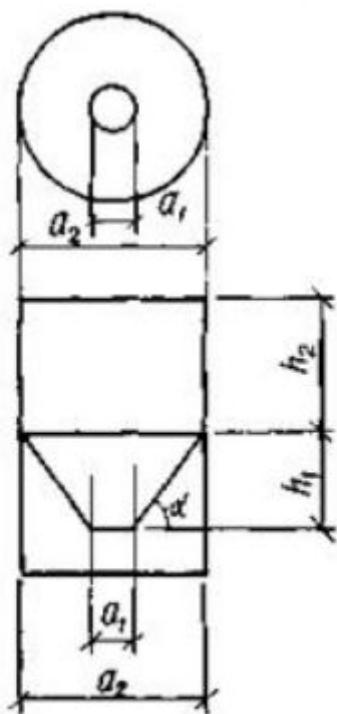


Рис. 3. Конусно-цилиндрический бункер

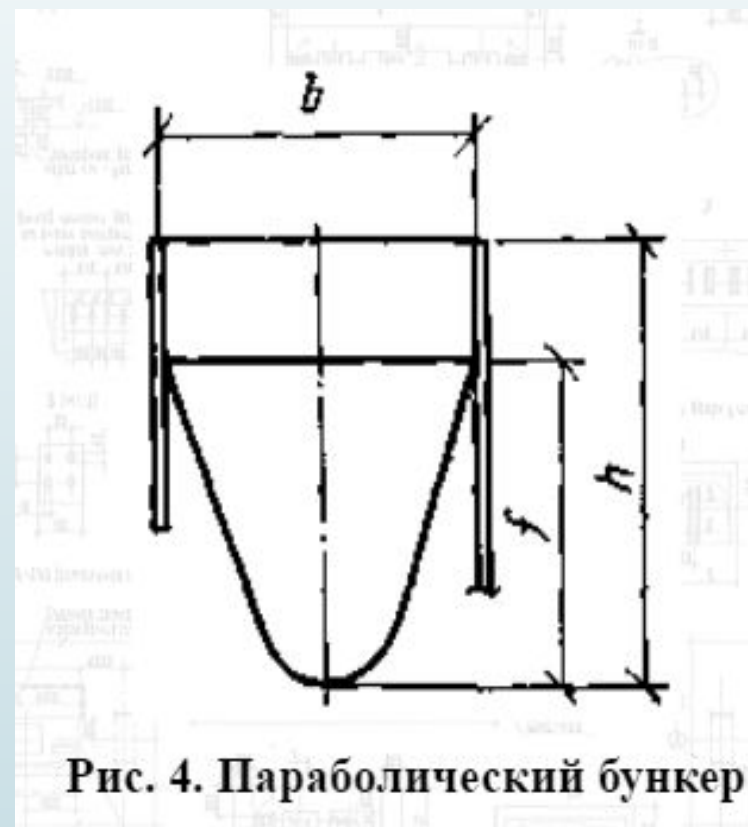


Рис. 4. Параболический бункер

Виды бункеров.



- Бункер в помещении



- Бункер для сыпучих



- Бункера с плоскими стенками

Общие сведения

В зависимости от вида разгрузочного устройства и механических характеристик сыпучего материала выпускные отверстия бункеров и силосов могут иметь:

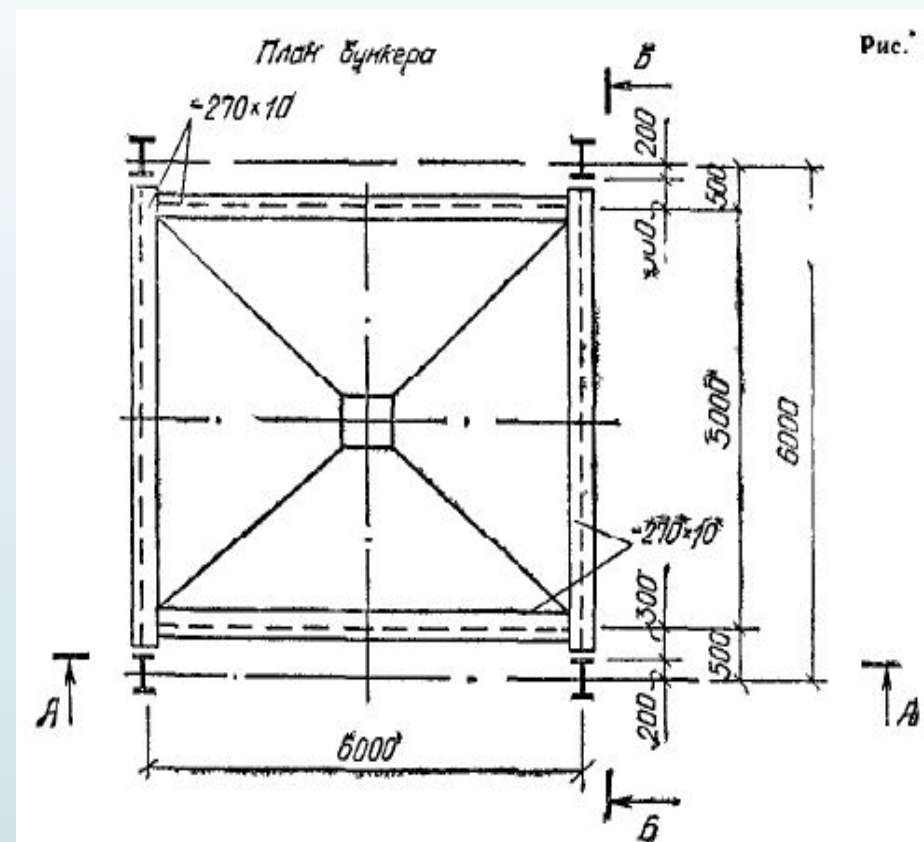
круглую;
квадратную;
прямоугольную или вытянутую щелевую форму в плане.

Общий вид силоса



Бункера с плоскими стенками

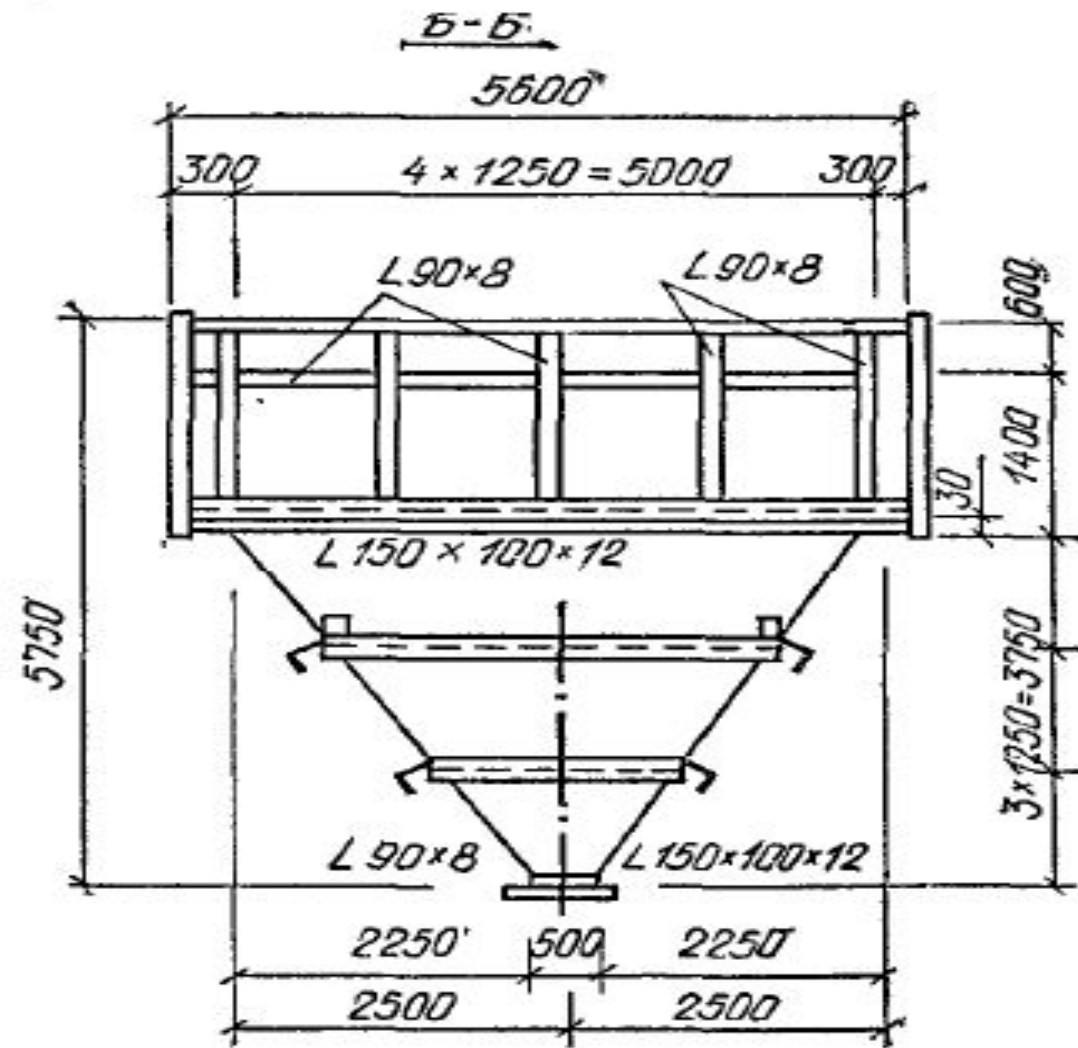
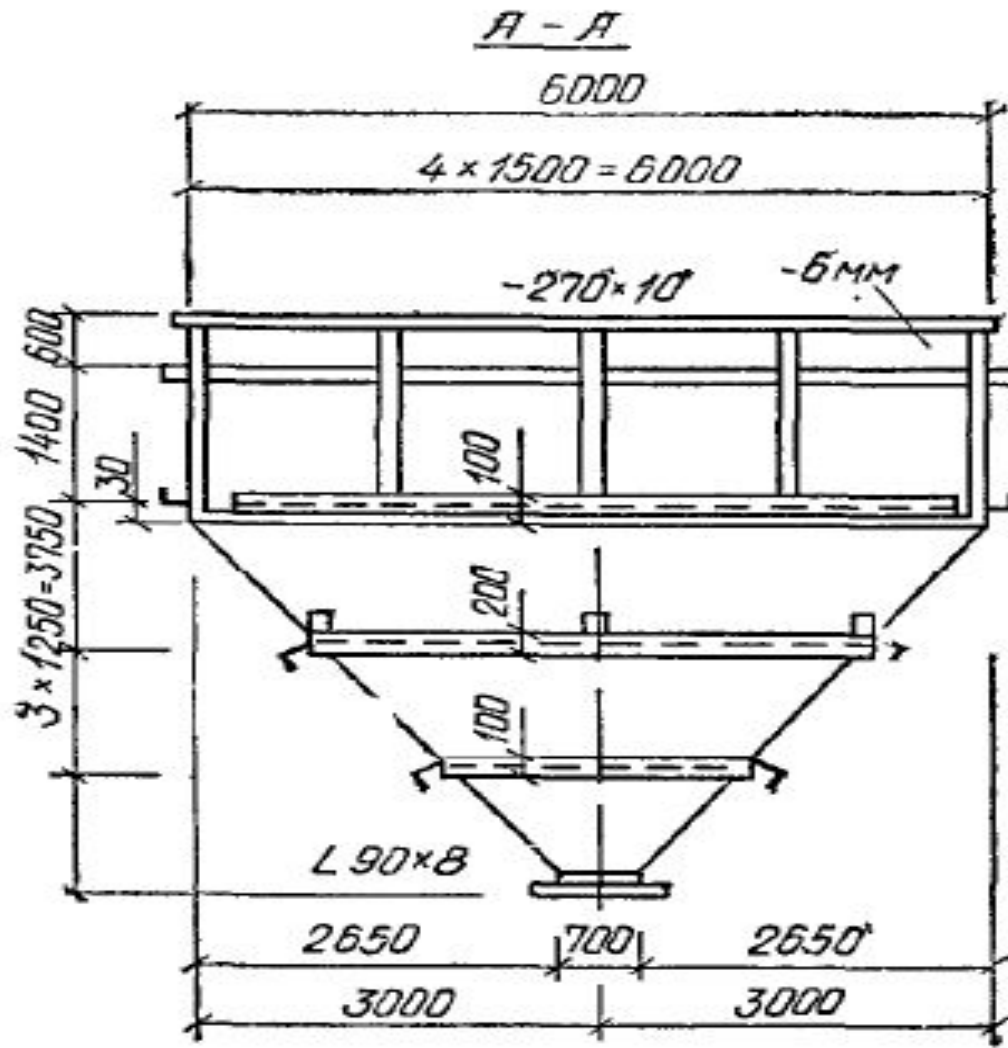
- Бункера с плоскими стенками являются жесткими конструкциями, так как сохраняют постоянную геометрическую форму в процессе загрузки и разгрузки.
- По конструктивной форме они разделяются на:
 - ✓ пирамидально-призматические;
 - ✓ лотково-призматические.
- Они состоят из верхней призматической части и нижней части (воронки), имеющей форму усеченной пирамиды или лотка большой протяженности. Вертикальные стенки образуются бункерными несущими балками и имеют горизонтальные и вертикальные ребра жесткости. Обшивка воронки укрепляется обычно только горизонтальными ребрами жесткости. Бункера опираются на колонны через бункерные балки.



Бункер с плоскими стенками

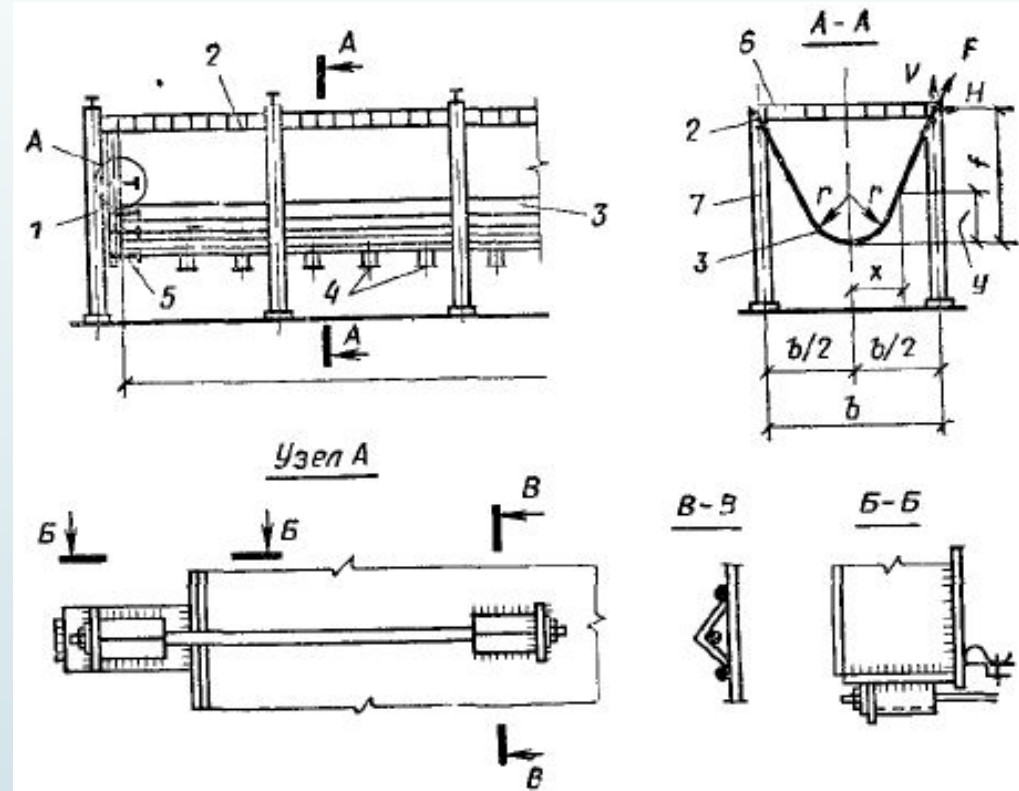
Бункер с плоскими стенками (сечения)

Бункерные балки с колоннами образуют поперечные рамы. Неизменяемость формы сооружения в продольном направлении бункерной эстакады обеспечивается продольными связями.



Гибкие бункера

Гибкий или висячий бункер представляет собой открытую (незамкнутую) цилиндрическую оболочку нулевой гауссовой кривизны, подвешенную к двум продольным несущим балкам, опирающимся на колонны. По торцам бункеров устраивают жесткие вертикальные стенки-диафрагмы.



Гибкий (параболический) бункер

- 1 - торцовая стенка; 2 - продольная балка; 3 – оболочка;
- 4- выпускное отверстие; 5 - тяжи;
- 6 - поперечная балка-распорка; 7 - колонна

Основные положения расчетов силосов

- Выполняют расчет стенок, днища, воронки, колонн, фундамента, покрытия. Все конструкции силосов, кроме
- стенок, рассчитывают аналогично соответствующим конструкциям промышленных зданий.
- При расчете стенок силосов учитывают нагрузки от их веса и давления сыпучего материала, веса конструкций и
- технологического оборудования, а также нагрузки от снега и ветра.
- Горизонтальное давление p на стенки силоса определяют по формулам Янсена-Кенена, которые выводятся из условия равновесия слоя материала, находящегося на глубине y .
- С учетом установленных экспериментальных поправочных коэффициентов, учитывающих податливость стенок, способ загрузки и разгрузки силоса, форму поперечного сечения и других факторов при $f = 1$:

$$p^H = a \frac{\gamma r}{\mu} \left(1 - e^{-\lambda \mu \frac{y}{r}} \right), \quad (2.1)$$

Где:

- a – эмпирический коэффициент, принимаемый:

$a = 2$ – при расчете горизонтальной арматуры нижней зоны стенок на $2/3$ их высоты и $a = 1,5$ при расчете днища воронок, в остальных случаях $a = 1$; γ – удельный вес сыпучего материала; $r = A/U$ – гидравлический радиус поперечного сечения силоса;

- μ – коэффициент трения сыпучего материала о стенки силоса, равный для разных материалов $0,44 \dots 0,8$;

- $\lambda = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \phi / 2)$ – коэффициент бокового давления; y – расстояние от верха загружаемого материала до рассматриваемого сечения;

- A – площадь поперечного сечения силоса;

- U – его периметр;

- ϕ – угол внутреннего трения, град.;

- γ , μ , ϕ , λ – приведены в табл. 6.1 [2].

Вертикальное нормативное давление, передающееся через трение на стенки силоса:

$$p_{v\mu}^H = \mu p^H. \quad (2.2)$$

Кроме того, при расчете днищ и воронок силосов учитывается вертикальное давление сыпучего материала, определяемое по формуле:

$$p_v^H = p^H / \lambda. \quad (2.3)$$

Нормативное давление по скату воронки силоса:

$$p_2 = p \sin^2 \alpha + p_{v\mu} \cos^2 \alpha, \quad (2.4)$$

где α – угол наклона плоскости к горизонту

Расчетное горизонтальное кольцевое растягивающее усилие в стенке круглого силоса:

$$S = \gamma_f p^H R / \gamma_c, \quad (2.5)$$

Где:

- $\gamma_f = 1,3$ – коэффициент надежности по нагрузке для сыпучих материалов; при расчете на сжатие нижней зоны силосов (колонн подсилосного этажа и фундаментов) расчетная нагрузка от веса сыпучих материалов умножается на коэффициент 0,9;
- γ_c – коэффициент условий работы конструкции, учитываемый только при расчете элементов конструкций, для которых $a > 1$, и принимаемый: для стенок круглых отдельно стоящих и наружных силосов с рядовым расположением $\gamma_c = 1$;
- для стенок внутренних силосов с рядовым расположением, а также для прямоугольных силосов со стороной до 4 м – $\gamma_c = 2$;
- для плоских днищ без забуток и для днищ в виде воронок $\gamma_c = 1,3$;
- для плоских днищ с забуткой толщиной 1,5 м и более – $\gamma_c = 2$;
- R – внутренний радиус силоса.

Площадь поперечного сечения кольцевой арматуры на 1 м высоты силоса определяется из условия расчета на прочность:

$$A_s = S / R_s . \quad (2.6)$$

- а – вертикальный разрез по силосу;
- б – эпюра нормального давления в сыпучем материале силоса;
- в – расчетная схема силоса квадратного поперечного сечения;
- г – определение кольцевого усилия;
- д – эпюра изгибающих моментов в стенке силоса;

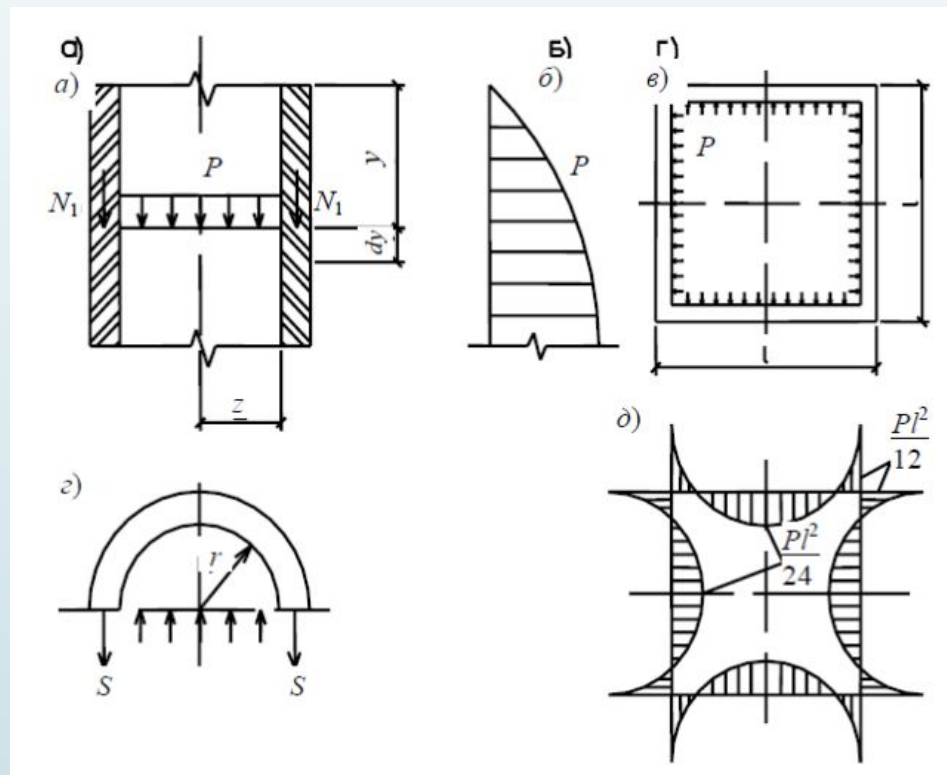


Рис. 2.3. К расчету стенок силосов:

Стены силосов необходимо рассчитывать на действие вертикальных сил в горизонтальных сечениях, рассматривая их как центрально сжатые.

В монолитных силосах в месте сопряжения днища и стенки возникает изгибающий момент, который по высоте затухает.

Определить его можно по формуле 14.8 [5].

Вертикальное сжимающее усилие на глубине y на 1 м горизонтального сечения равно сумме продольных сил от веса вышележащих конструкций и порождаемых трением сыпучего материала о стены силоса:

$$N_p = 0,9 \frac{D_{в}}{4} \gamma_c (\gamma_f \gamma y - p_v), \quad (2.7)$$

Где: $D_{в}$ – внутренний диаметр силоса.

Расчет прямоугольных (квадратных) силосов выполняют в нескольких ярусах по высоте. На каждом ярусе ячейка силоса рассматривается как замкнутая рама, находящаяся под воздействием горизонтального давления p . Осевое растягивающее усилие в стенке:

$$N = pl / 2, \quad (2.8)$$

где l – размер ячейки силоса в осях стен противоположного направления.

Изгибающие моменты в стенах силоса:

$$M_{он} = -pl^2 / 12; \quad M_{нр} = -pl^2 / 24. \quad (2.9)$$

Площадь поперечного сечения горизонтальной арматуры определяется расчетом на прочность стенки как внецентренно растянутого элемента.

Кроме того, выполняют расчет по образованию и раскрытию трещин. В последнем случае $\gamma_f = 1$. Длительно действующее горизонтальное усилие принимается равным S , а кратковременное

$$S_{sh} = S(a / \gamma_c - 1). \quad (2.10)$$

Основные положения расчетов бункеров.

Саморазгружающиеся емкости для хранения сыпучих материалов с малой по сравнению с размерами в плане глубиной H называют бункерами. Они обычно состоят из воронкообразного днища с углом наклона стен на $50...100^\circ$ превышающим угол естественного откоса сыпучего материала, что обеспечивает полную самотечную его разгрузку, и призматической части, предназначенной для увеличения объема бункера. Для защиты от истирания в процессе загрузки и выгрузки стены бункеров защищают футеровкой в виде стальных листов, рельсов, плит из каменного литья или чугуна.

Железобетонные бункера выполняют монолитными или сборными. Широко распространены монолитные бункера, которые могут быть любой формы и вместимости. К недостаткам бункеров этого типа относятся необходимость устройства сплошной опалубки, сложность армирования и бетонирования воронкообразной части бункера и, как следствие, высокая трудоемкость работ. Армируют бункера отдельными стержнями или каркасами и сетками. В углах с внутренней стороны воронки и призматической части бункера устраивают вуты для улучшения анкеровки стержней.

Наклонные стержни воронки заходят в вертикальную стенку и надежно анкеруют. Для армирования применяют преимущественно сталь класса А300.

Сборные железобетонные бункера выполняют из ребристых или плоских плит. Наиболее целесообразно применение сборных конструкций при проектировании бункеров лоткового или ящичного типа.

Каждая стенка бункера испытывает местный изгиб от давления сыпучего материала на данную стенку и двухосное растяжение, возникающее от давления содержимого бункера на поперечные стены (горизонтальное растяжение) и от веса расположенной ниже части бункера, а также от давления сыпучего материала на днище (вертикальное растяжение). Давление материала на стенки бункера зависит от высоты слоя материала, находящегося в бункере выше рассматриваемой точки, его свойств и угла наклона к горизонту плоскости, на которую передается давление (рис. 3.1).

Так как высота бункера мала, давление на стенки обычно определяется без учета трения сыпучего материала о стенки бункера и считается направленным перпендикулярно к плоскости стенки или днища. Расчетное вертикальное давление сыпучего материала на горизонтальную плоскость:

$$p_v = 1,3\gamma h, \quad (3.1)$$

Где:

- γ – удельный вес материала;
- h – высота слоя материала над данной точкой.

Расчетное горизонтальное давление на горизонтальную плоскость:

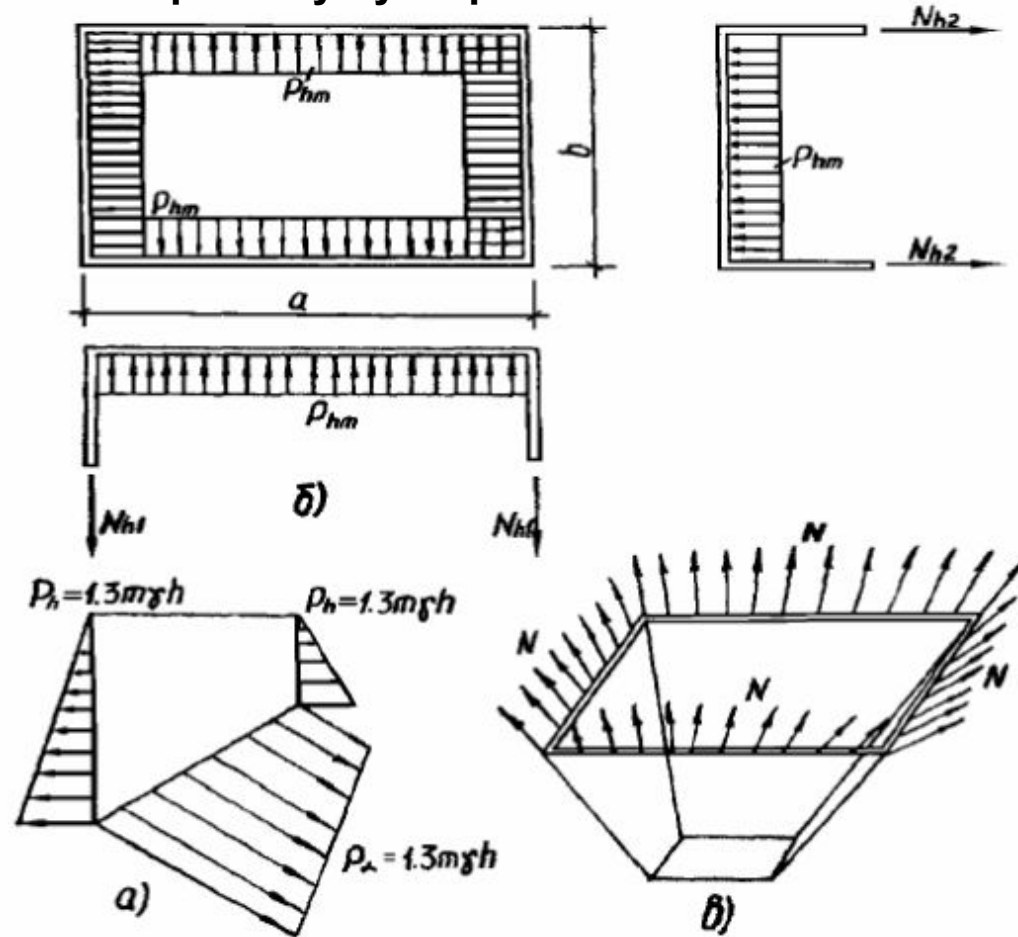
$$p_h = 1,3\lambda\gamma h, \quad (3.2)$$

Где: λ – коэффициент бокового давления, равный отношению горизонтального давления к вертикальному.

$$\lambda = p_h / p_v = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi / 2), \quad (3.3)$$

здесь φ – угол внутреннего трения материала, обычно принимаемый равным углу естественного откоса.

Рис. 3.1. К расчету бункеров:



а – эпюра давления материала на стенки бункера и воронку;
б – эпюра распределения нагрузок при определении горизонтальных растягивающих усилий N в симметричном бункере;
в – к определению вертикальных скатных растягивающих усилий

Расчетное давление на наклонные стенки бункера и воронку:

$$p_{\alpha} = 1,3m_0\gamma h, \quad (3.4)$$

где $m_0 = \cos^2 \alpha + \lambda \sin^2 \alpha$; α – угол наклона плоскости к горизонту.

При загрузке бункера механизмом с объемом ковша, составляющим значительную часть от вместимости бункера, давление на стенки и днище определяется с учетом коэффициента динамичности, который принимается 1,1...1,4; в зависимости от отношения объема ковша к объему бункера, равному 1/5...1/2.

Горизонтальное растягивающее усилие от распора материала на единицу высоты призматической части бункера определяются по формулам:

$$N_{h_1} = p_{hm} b / 2, \quad N_{h_2} = p_{hm} a / 2, \quad (3.5)$$

где a и b – размеры призматической части бункера в плане; p_{hm} – расчетное среднее горизонтальное давление до рассматриваемой глубины (по формуле 3.1).

Для наклонной части бункера горизонтальные растягивающие усилия на единицу высоты:

$$N_{h_1} = p_{\alpha_m} b_1 \sin \alpha / 2, \quad N_{h_2} = p_{\alpha_m} a_1 \sin \alpha / 2, \quad (3.6)$$

где p_{α} – расчетное среднее давление на наклонные стенки бункера.

$$p_{\alpha_m} = 1,3m_0\gamma h + 1,1g \cos \alpha_1, \quad (3.7)$$

где g – вес 1 м² стенки воронки; α – угол наклона стенок воронки бункера к горизонту.

Стенки призматической части бункера выполняют из прямоугольных плит, которые рассчитывают на действие треугольной нагрузки, как плиты, опертой по контуру при $a / h = 0,5 \dots 2$, и как балочные плиты при $a / h > 2$. Если $a / h < 0,5$, то стены следует рассчитывать как замкнутые рамы, аналогично расчету прямоугольных силосов.

Верхняя грань стенки призматической части бункера может быть свободной, свободно опертой (при наличии плиты перекрытия) или защемленной (при устройстве жесткого железобетонного перекрытия).

Наклонные стенки бункеров имеют трапециевидную форму и в зависимости от размеров верхнего a_2 и нижнего a_1 оснований и высоты h , рассчитывают на изгиб как треугольные плиты при $a_2 / a_1 \geq 4$, либо как трапециевидные плиты при $a_2 / a_1 < 4$. Расчет трапециевидных и треугольных плит выполняют по таблицам. Если плиты несимметричные трапециевидные, их приводят к прямоугольным и рассчитывают по табл. [10]. Расчетные размеры прямоугольной плиты $b \times h$ определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{2}{3} a_2 \frac{(2a_1 + a_2)}{a_1 + a_2}; \\ h_1 &= \frac{a_2(a_1 + a_2)}{6(a_1 + a_2)}. \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

По найденным усилиям арматуру в стенках бункеров вычисляют из расчета на внецентренное растяжение. При этом горизонтальные и вертикальные растягивающие усилия передаются только на арматуру.

Резервуары.

Резервуары – это емкостные инженерные сооружения, предназначенные для хранения жидкостей, газов.

Железобетонные резервуары по сравнению с металлическими более долговечны, огнестойки и имеют меньшие эксплуатационные расходы. Они классифицируются по форме в плане, отметке днища, конструктивным особенностям армирования, способу возведения. В плане имеют преимущественно круглую или прямоугольную форму. Железобетонные резервуары более сложной формы (сферической, линзообразной) трудоемки и широкого распространения не получили. Резервуары бывают подземными, полузаглубленными, наземными и надземными (водонапорные башни), открытыми (без покрытия) и закрытыми.

Основные положения по расчету цилиндрических резервуаров

Гидростатическое давление жидкости на стенки круглого резервуара с увеличением глубины возрастает по линейному закону (рис. 4.4)

$$p = \gamma \gamma_f h, \quad (4.1)$$

Где:

- γ – удельный вес жидкости;
- γ_f – коэффициент надежности по нагрузке;
- h – высота резервуара.

- а – определение кольцевых растягивающих усилий в цилиндрической стенке;
- б – перемещение стенки, не связанной с дном, от гидростатического давления жидкости;
- в – эпюры кольцевых усилий и изгибающих моментов в стенке, шарнирно связанной с дном, при учете сил трения;
- г – перемещение стенки, жестко связанной с дном; эпюры кольцевых усилий S и изгибающих моментов M в стенке;
- д – давление грунта на стенку резервуара.

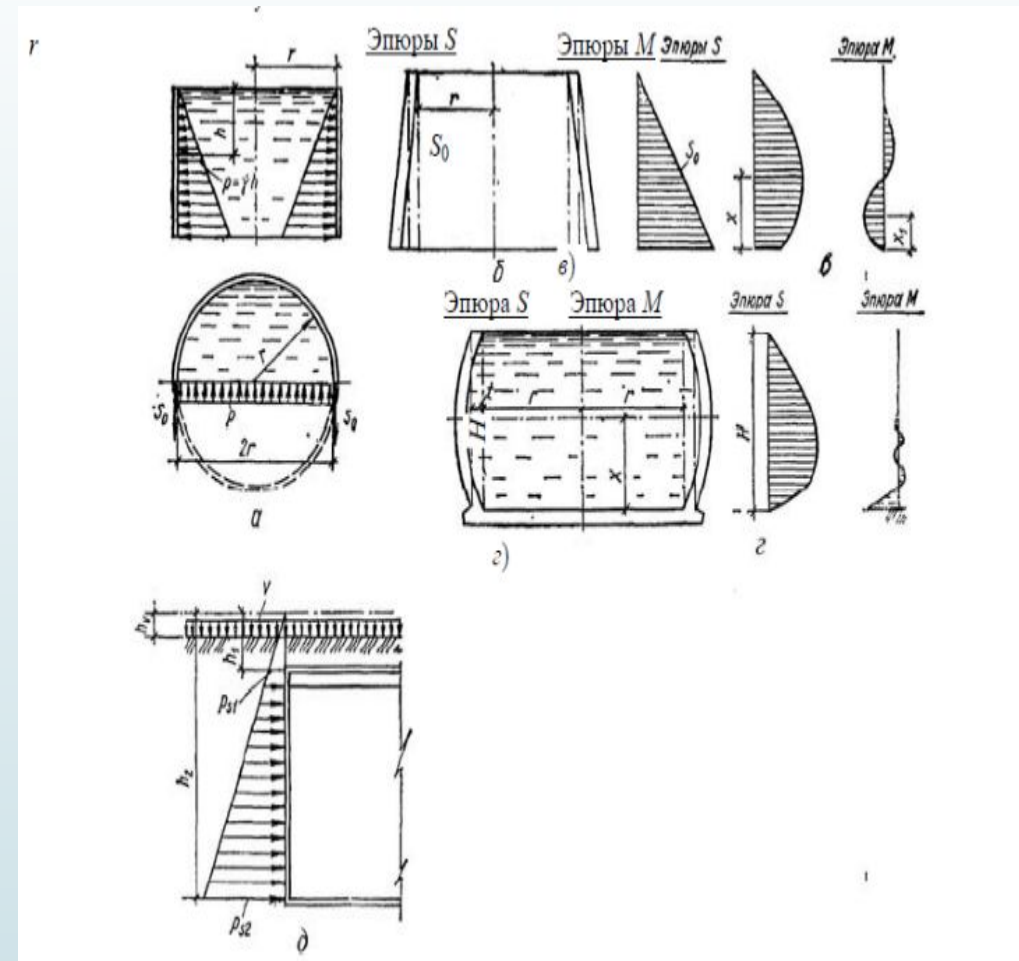


Рис. 4.4. К расчету цилиндрических резервуаров:

Гидростатическое давление вызывает в стенке кольцевое растягивающее усилие S_0 , значение которого определяют из условия равновесия полукольца (рис. 4.4)

$$S_0 = pr, \quad (4.2)$$

Где: r – радиус резервуара.

Стенка является осесимметричной цилиндрической оболочкой и усилия в ней могут быть определены по общим формулам расчета тонкостенных цилиндрических оболочек покрытия. С достаточной точностью усилия M , S , Q в сечениях стенки можно определить, если рассмотреть условно вырезанную из оболочки вертикальную полосу шириной 1 м, защемленную внизу, нагруженную гидростатическим давлением и подпертую по всей длине упругими силами – радиальными составляющими кольцевого усилия S . Прогиб этой полосы пропорционален упругому отпору. В расчетной схеме такую полосу можно представить как балку на упругом основании. Из решения дифференциальных уравнений изгиба балки на упругом основании с защемленным концом получаются формулы для определения расчетных усилий:

Где: S_0 – расчетное кольцевое усилие, определяемое по формуле (4.2);

- p_{\max} – расчетное гидростатическое давление внизу стенки;

- m – характеристика жесткости стенки

$$m = 1,3 / \sqrt{rt}, \quad (4.5)$$

- t – толщина стенки, см, $t \approx 0,5 \cdot r \geq 12$ см;

- H – высота стенки; r и H в метрах;

- η_1 и η_2 – коэффициенты для

расчета балок на упругом основании. Их значения приведены в ([5], табл. 4, 14) в зависимости от величины $\phi = m x$;

- x – расстояние от низа стенки до рассматриваемого сечения.

$$S = S_0 - p_{\max} r \left[\eta_1 + \eta_2 \left(1 - \frac{1}{mH} \right) \right]; \quad (4.3)$$

$$M = \frac{p_{\max}}{2m^2} \left[\left(1 - \frac{1}{mH} \right) \eta_1 - \eta_2 \right], \quad (4.4)$$

При шарнирном сопряжении с днищем радиальному перемещению стенки препятствует сила трения:

$$Q_{\mu} = N\mu, \quad (4.6)$$

- N – расчетная продольная сила;
- μ – коэффициент трения стенки о днище; при заполнении шва битумной мастикой $\mu = 0,5$.

Расчетное кольцевое усилие в стенке на расстоянии x от низа:

$$S = S_0 - 2mrQ_{\mu}\eta_1. \quad (4.7)$$

Максимальный момент от воздействия Q_{μ} в сечении на расстоянии $x_1 = 0,6 rt$ (рис. 4.4, в) равен:

$$M = \frac{Q_{\mu}}{m}\eta_2. \quad (4.8)$$

Приведенные выше зависимости для определения усилий S и M от гидростатического давления жидкости соответствуют напряженному состоянию для надземных и наземных резервуаров в период эксплуатации, а для подземных и полузаглубленных – в период гидравлических испытаний.

Боковое давление грунта при обсыпке резервуара создает в стенке кольцевые сжимающие усилия, а при жестком соединении стенки с днищем и покрытием и изгибающие моменты. Сжимающие усилия при заполненном резервуаре снижают растягивающие усилия в стенке, а при опорожненном – воспринимаются бетоном стенки и не требуют дополнительного армирования.

Изгибающие моменты от давления грунта действуют в меридиональной плоскости, имеют знак, противоположный знаку моментов от давления жидкости, и требуют установки дополнительной вертикальной арматуры в стенке в зонах, примыкающих к днищу и покрытию.

Максимальный изгибающий момент в стенке вычисляют по формуле

где p_{s1} и p_{s2} – давление грунта сверху и внизу стенки, определяемые по формулам

$$p_{s1} = \gamma_f \gamma_s (h_1 + h_v) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2); \quad (4.10)$$

$$p_{s2} = \gamma_f \gamma_s (h_1 + h_v) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2), \quad (4.11)$$

$$M_s = \frac{p_{s2}}{2m^2} \left(1 - \frac{1 - p_{s1}/p_{s2}}{mH} \right), \quad (4.9)$$

Где: $h_v = v / \gamma_s$, v – распределенная временная нагрузка на поверхности;

γ_s – удельный вес;

h – расстояние от поверхности земли до рассматриваемого сечения;

φ – угол внутреннего трения грунта (рис. 4.4).

Площадь кольцевой арматуры определяют по формуле:

$$A_s = S / R_s. \quad (4.12)$$

Кольцевое растягивающее усилие вычисляют через (0,5...1) м по высоте стенки. Для каждой зоны находят площадь сечения арматуры и число стержней.

Вертикальную арматуру стенки подбирают по наибольшему изгибающему моменту в уровне примыкания дна или покрытия к стенке. Рассчитывают полосу шириной 1 м на изгиб. По усилию M (от давления жидкости при отсутствии засыпки) арматуру располагают с внутренней стороны стенки, а по M_s (от давления грунта при опорожненном резервуаре) – с внешней стороны.

Элементы сборного перекрытия закрытых резервуаров (панели, ригели, стыки) рассчитывают и конструируют аналогично подобным конструкциям многоэтажных промышленных зданий.

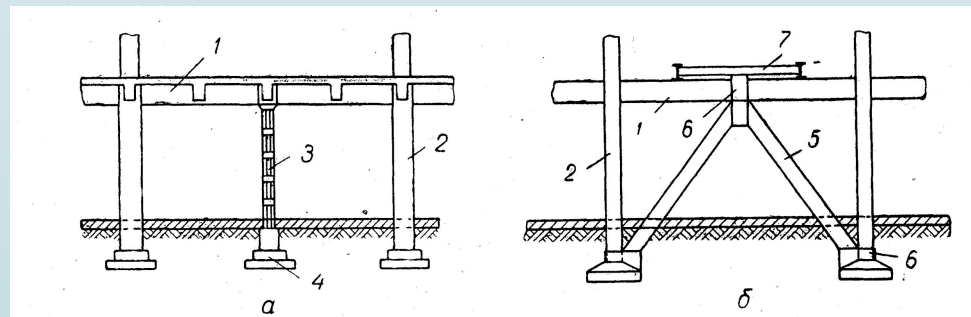
Колонны рассчитываются на сжатие при $e = e_a$.

Усиление конструкций с изменением расчетной схемы.

Дополнительные жесткие опоры

Очевидно, самым простым является усиление дополнительными опорами. К этому способу прибегают при усилении балок, ригелей рам, ферм и т. д. Безусловно, дополнительные опоры особенно эффективны при балочных конструкциях, так как уменьшают расчетные пролеты, в результате чего несущая способность может быть увеличена в несколько раз. К жестким дополнительным опорам относят выполненные в виде стоек, подкосов и жестких подвесок, когда исключена осадка промежуточной опоры. Для ригелей рам, балок и ферм они могут быть выполнены в виде стоек, имеющих самостоятельные фундаменты. В этом случае особенно важно уменьшить осадку этих фундаментов, для чего необходимо предварительное обжатие грунта под подошвой и снижение давления на грунт.

На рис. 20 показано устройство жестких дополнительных опор из сборных элементов. При бетонировании стоек и подкосов на месте необходимо не доводить их до подпираемого элемента на 20—30 см. Этот зазор бетонируют позже (после укладки арматуры охватывающего хомута), что позволяет избежать образования усадочных трещин в местах сопряжений и добиться более плотного и надежного соединения подводимых конструкций с усиливаемыми.

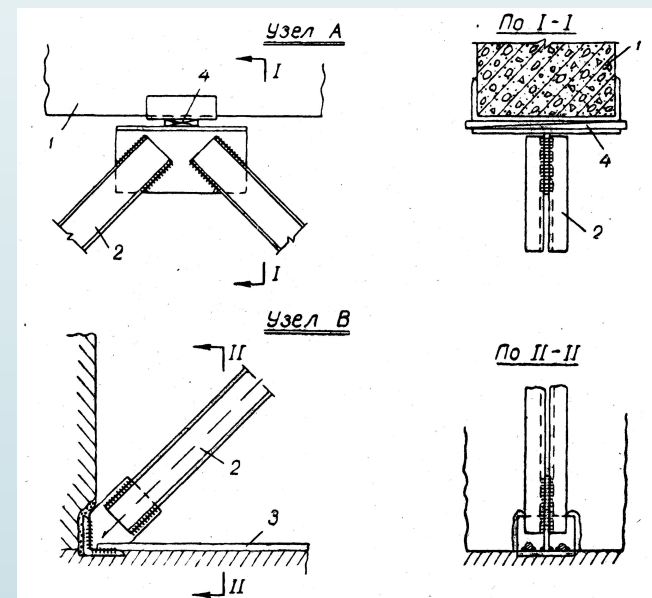
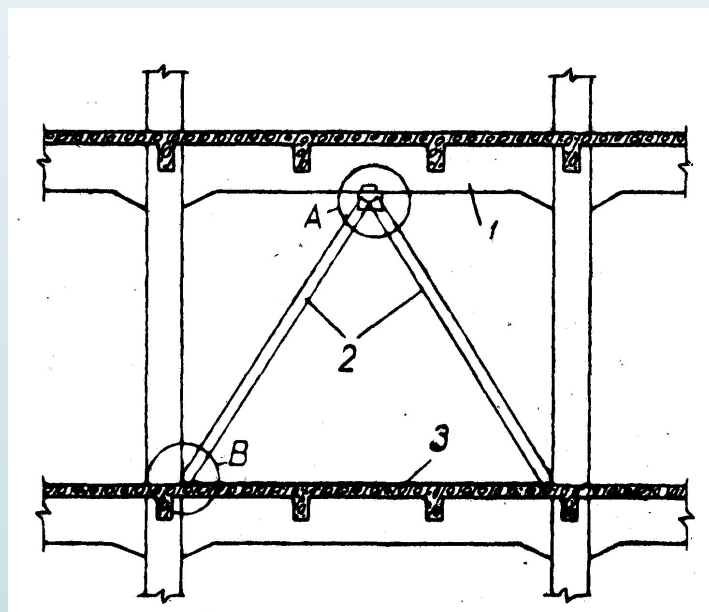


а — подведенная металлическая стойка;
б — подведенная подкосная опора;
1 — усиливаемая конструкция; 2 — существующие колонны; 3 — подведенная жесткая опора-стойка; 4 — фундамент под подводимую жесткую опору; 5 — подведенная подкосная опора; 6 — охватывающие хомуты; 7 — опорная конструкция нового оборудования.

Рис. 20. Конструкции дополнительных жестких опор:

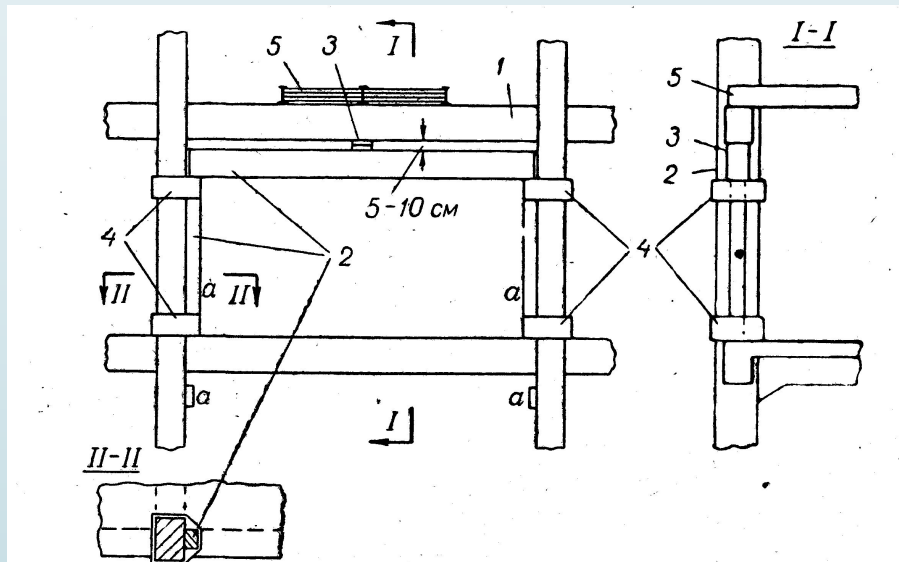
Рис. 21. Усиление железобетонного ригеля междуэтажного перекрытия устройствам дополнительной жесткой опоры с вариантами узлов:

- 1 — усиливаемый ригель;
- 2 — металлические подкосы;
- 3 — затяжка на уровне пола;
- 4 — клиновидные прокладки.



Дополнительные упругие опоры.

Дополнительные упругие опоры создаются обычно изгибаемыми конструкциями, закрепляемыми к основным несущим элементам сооружения. Они представляют собой балки, фермы, рамы или подвески и стойки, включающие в совместную работу с усиливаемым элементом другие, недогруженные изгибаемые элементы сооружения. К упругим можно отнести и опоры, создаваемые металлическими тяжами, когда значительная податливость обуславливается их продольной деформацией, даже при отсутствии изгиба конструкций усиления.



- 1 — усиливаемая конструкция;
- 2 — упруго-опорная рамная конструкция;
- 3 — упор, бетонируемый после распалубки подведенной конструкции;
- 4 — охватывающие хомуты прикрепления рамы к колонне каркаса;
- 5 — опорная конструкция нового оборудования.

Рис. 24. Вариант конструкции дополнительной упругой опоры.

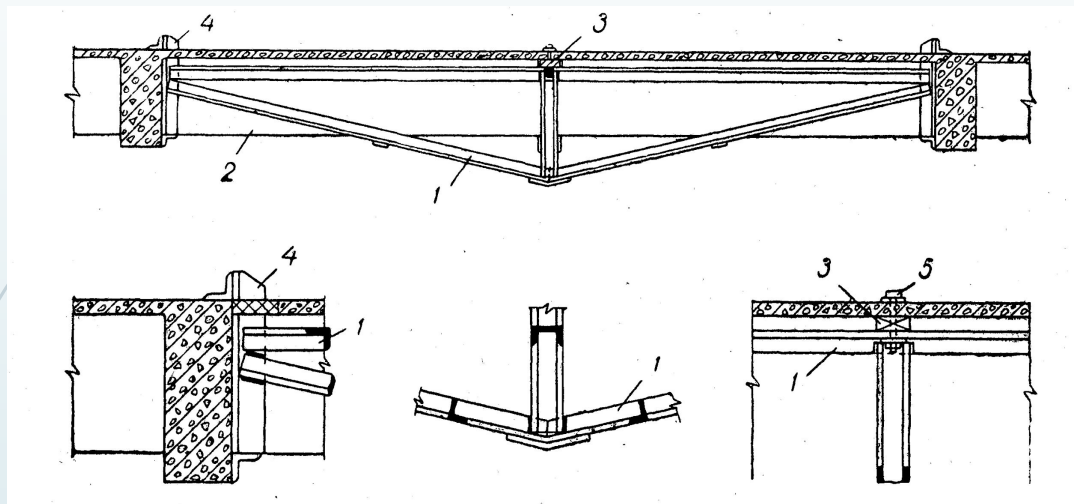


Рис. 25. Усиление железобетонной балки упругой опорой, создаваемой

1 — треугольная ферма усиления; 2 — усиливаемая балка; 3 — прокладка для создания упругой опоры; 4 — подвеска фермы к усиливаемой балке; 5 — фиксирующий болт.

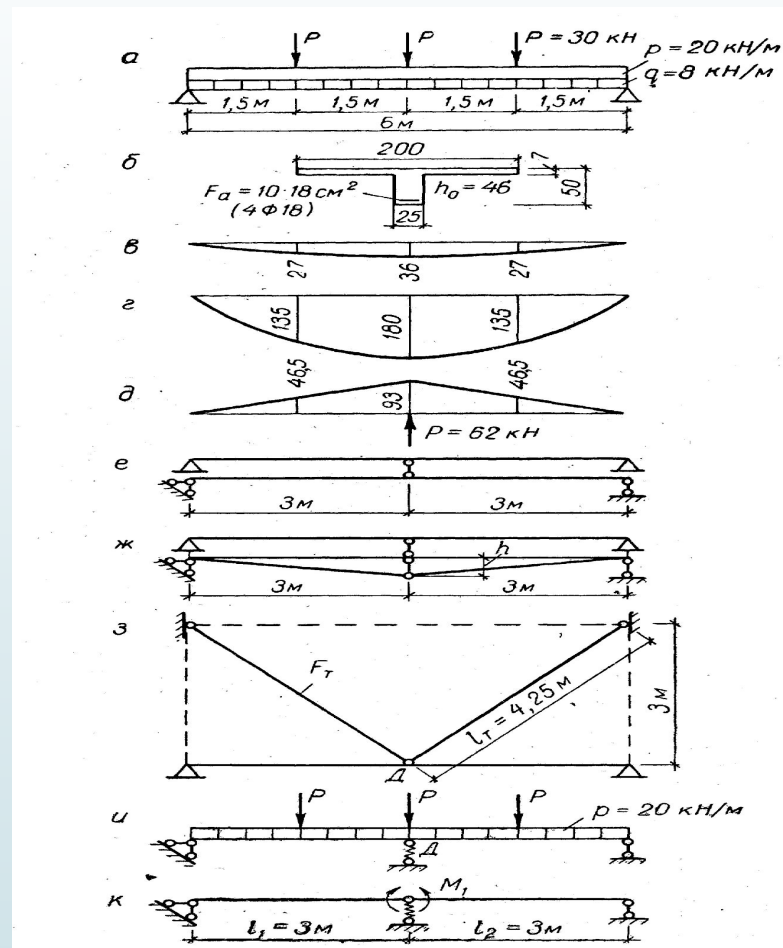


Рис. 26. Усиление балки дополнительной упругой опорой

Шарнирно-стержневые предварительно-напряженные цепи

Ю. И. Лозовым и Е. Р. Хило разработано усиление балочных конструкций предварительно-напряженными шарнирно-стержневыми цепями (рис. 33).

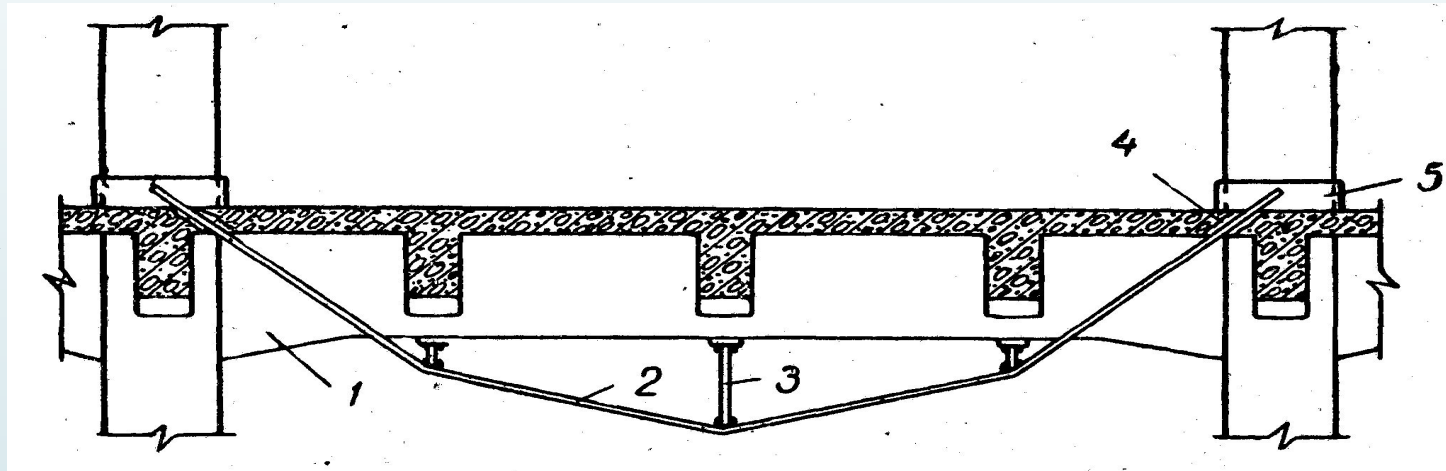


Рис. 33. Усиление ригеля рамы шарнирно стержневой цепью:

- 1 — усиливаемый ригель;
- 2 — шарнирно-стержневая цепь;
- 3 — стойки;
- 4 — отверстия в плите перекрытия;
- 5 — металлические обоймы анкерных устройств цепи.

При этом усиливаемой конструкции сообщается антинагрузка в виде ряда сосредоточенных сил, приложенных по всей длине. Закономерность ее распределения зависит от очертания цепи и может быть выбрана заранее. Усиливаемая конструкция превращается в комбинированную статически неопределимую систему и воспринимает нагрузку, прикладываемую после усиления.

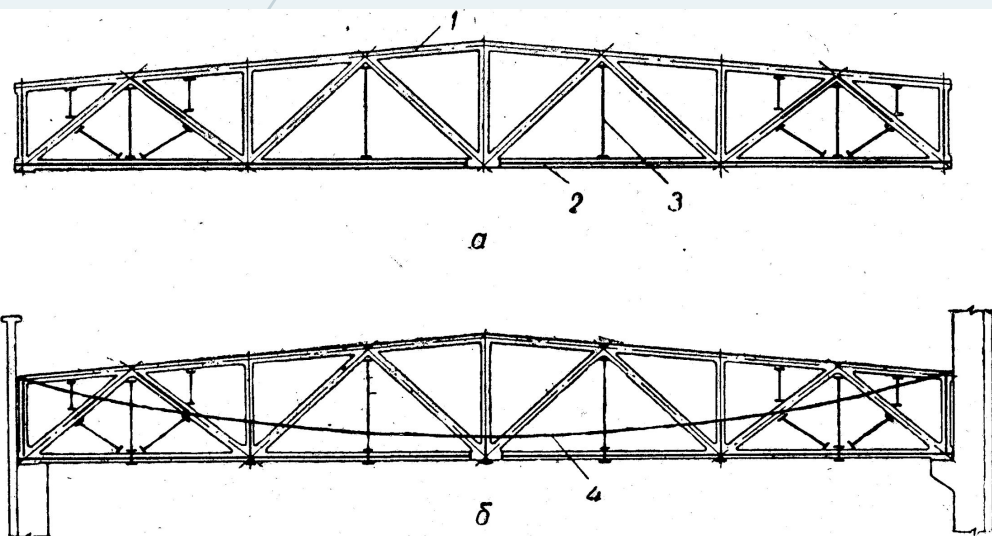


Рис. 37. Схема усиления железобетонной фермы предварительно-напряженной цепью:

a — первый этап; *b* — второй этап; 1 — железобетонная ферма; 2 — усиленные элементы фермы; 3 — дополнительные элементы усиления; 4 — предварительно-напряженная цепь.

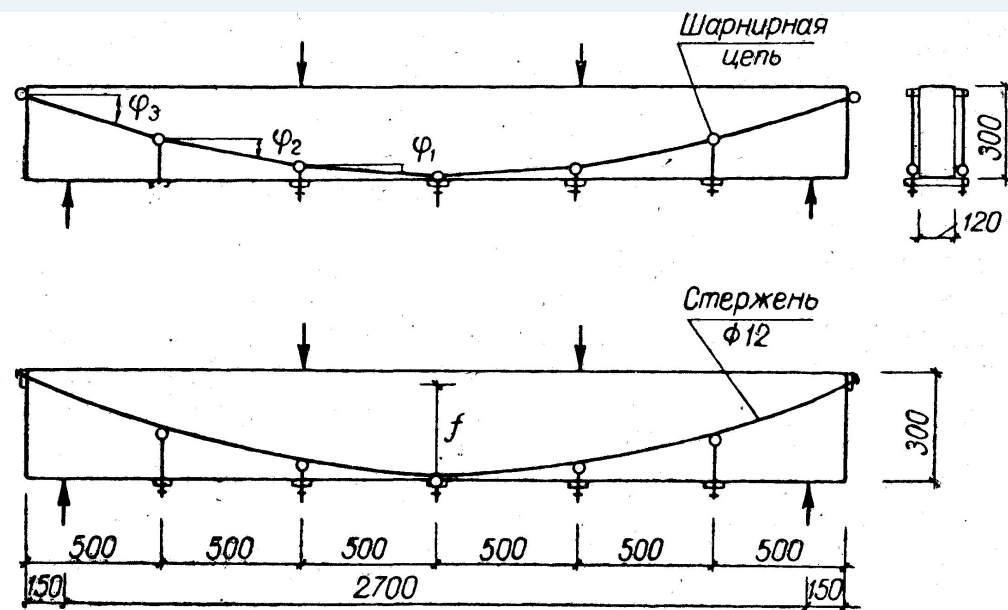


Рис. 36. Схемы усиления опытных балок предварительно-напряженными цепями.