

Листовые металлические конструкции

Общая характеристика металлических листовых конструкций

Листовые конструкции представляют собой емкостные конструкции, состоящие из металлических листов и предназначенные для хранения, транспортирования, перегрузки и переработки жидкостей, газов и сыпучих материалов.

Номенклатура листовых конструкций

- Резервуары для хранения жидкостей;
- Газгольдеры для хранения газов;
- Бункера и силосы для хранения и перегрузки сыпучих материалов;
- Трубопроводы большого диаметра для транспортирования газов, жидкостей и размельченных или разжиженных твердых веществ;
- Листовые конструкции доменных цехов и газоочисток;
- Дымовые и вентиляционные трубы;
- Специальные листовые конструкции химической и нефтезаводской аппаратуры;
- Барабанные вращающиеся печи для обжига твердых веществ;
- Линейные ускорители протонов и другие листовые конструкции физических установок.

Наземные резервуары для хранения жидкостей



Газгольдеры для хранения газов



Силос для хранения зерна



Трубопроводы большого диаметра





Вентиляционная труба



Барabanная вращающаяся печь для обжига керамзита





Основные особенности листовых конструкций по сравнению с другими металлическими конструкциями

- Швы листовых конструкций должны: удовлетворять требованиям не только прочности, но и плотности (непроницаемости), и качество их должно быть еще выше, чем в обычных строительных конструкциях. Сварные соединения выполняются встык, внахлестку и впритык. Наиболее целесообразно соединение встык
- Листовые конструкции представляют собой сплошные тонкостенные емкостные конструкции, что обуславливает их двухосное напряженное состояние, тогда как стержни сквозных строительных конструкций испытывают обычно одноосное напряженное состояние.
- В ограждениях различных оболочек листовых конструкций и в заземлении оболочек у колец жесткости и у днищ возникают локальные напряжения краевого эффекта, которые необходимо учитывать при проектировании.

- Листовые конструкции всегда совмещают функции несущих и ограждающих конструкций.
- Условия работы листовых конструкций весьма разнообразны: они могут быть надземными, наземными, полузаглубленными, подземными; могут воспринимать статическую и динамическую нагрузки, работать под низким, средним и высоким давлением, под вакуумом, под воздействием низких (от -254 до -40°C), средних (от -40 до $+200^{\circ}\text{C}$) и высоких (более $+200^{\circ}\text{C}$) температур, под воздействием нейтральных и агрессивных сред.
- Листовые конструкции характеризуются относительно большой протяженностью соединений, превышающей на одну тонну примерно вдвое протяженность швов обычных металлоконструкций.

-
- При изготовлении листовых конструкций применяются операции, не требующиеся при производстве обычных металлоконструкций: фасонный раскрой листового проката, изготовление рулонных заготовок, штамповка и т.д.
 - Для цилиндрических и шаровых листовых конструкций, работающих под высоким давлением, применяют крупноразмерные листы шириной до 3000 и длиной до 9000мм.
 - Возможность использования для специальных листовых конструкций не только стали, алюминия и алюминиевых сплавов, но и биметалла, меди, латуни, титана, никеля, металлопласта и других материалов.

Повышение долговечности листовых конструкций может быть достигнуто следующими мерами:

- Выбором конструкционного материала, стойкого против агрессивного действия рабочей среды;
- Выбором надлежащей конструктивной формы;
- Покрытием методом распыления менее стойких материалов более стойкими;
- Созданием на поверхности металла защитной пленки путем химической или электрохимической реакции;
- Защитой основного конструкционного материала слоем коррозионностойкого материала;

Резервуары:

1. Номенклатура резервуаров; эксплуатационные и производственные требования, предъявляемые к ним.

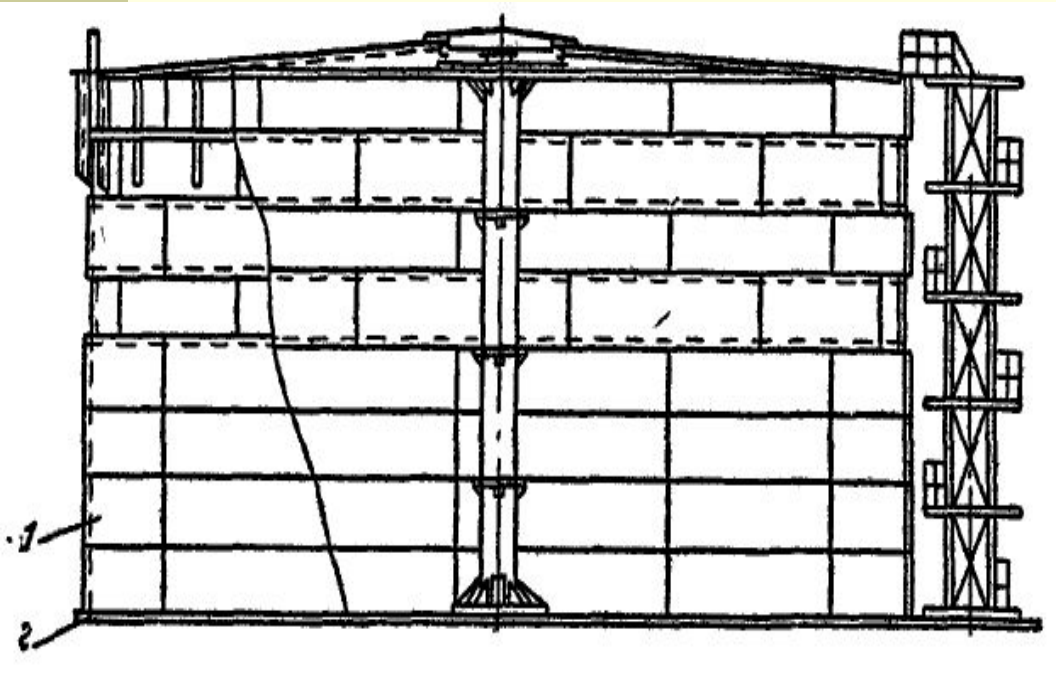
Резервуары служат для хранения нефти и нефтепродуктов, воды, сжиженных газов, кислот и других жидкостей.

По форме резервуары могут быть:

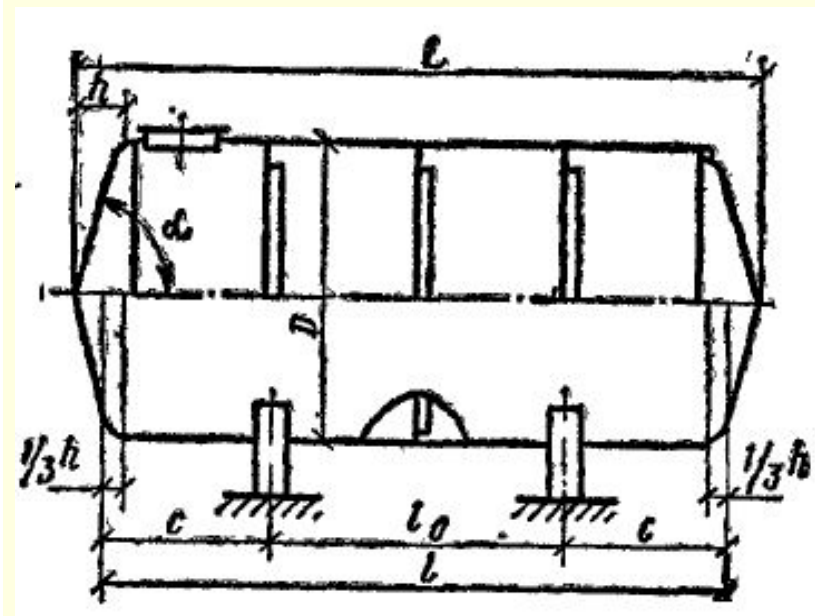
1. Вертикальные цилиндрические
2. Горизонтальные цилиндрические
3. Каплевидные
4. Шаровые

Резервуары бывают постоянного и переменного объема, надземные, наземные, полузаглубленные, подземные и подводные.

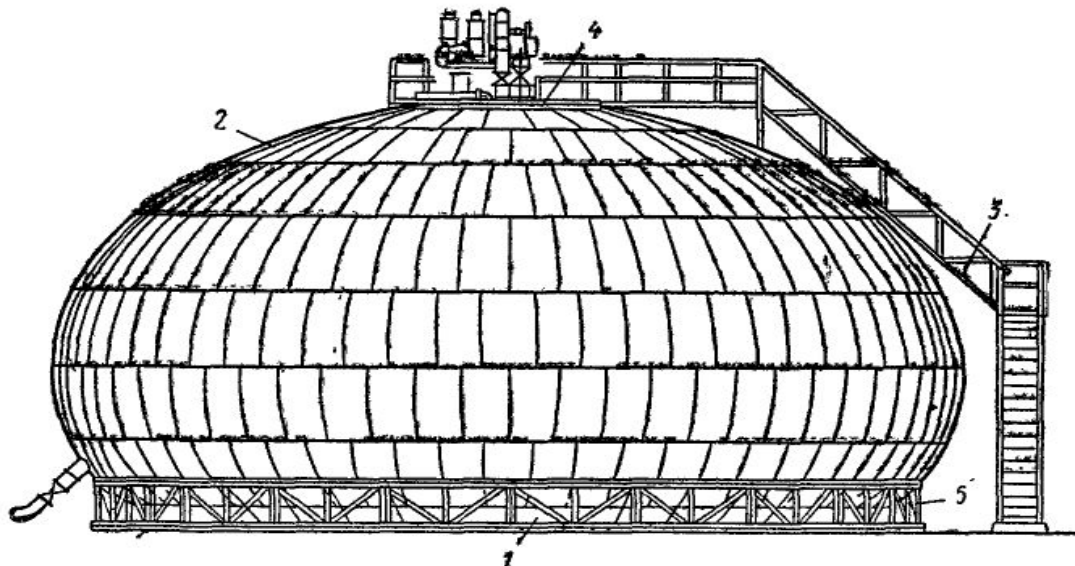
Тип резервуара выбирают в зависимости от свойств хранимой жидкости, района строительства (климатических условий), режима эксплуатации и вместимости резервуара.



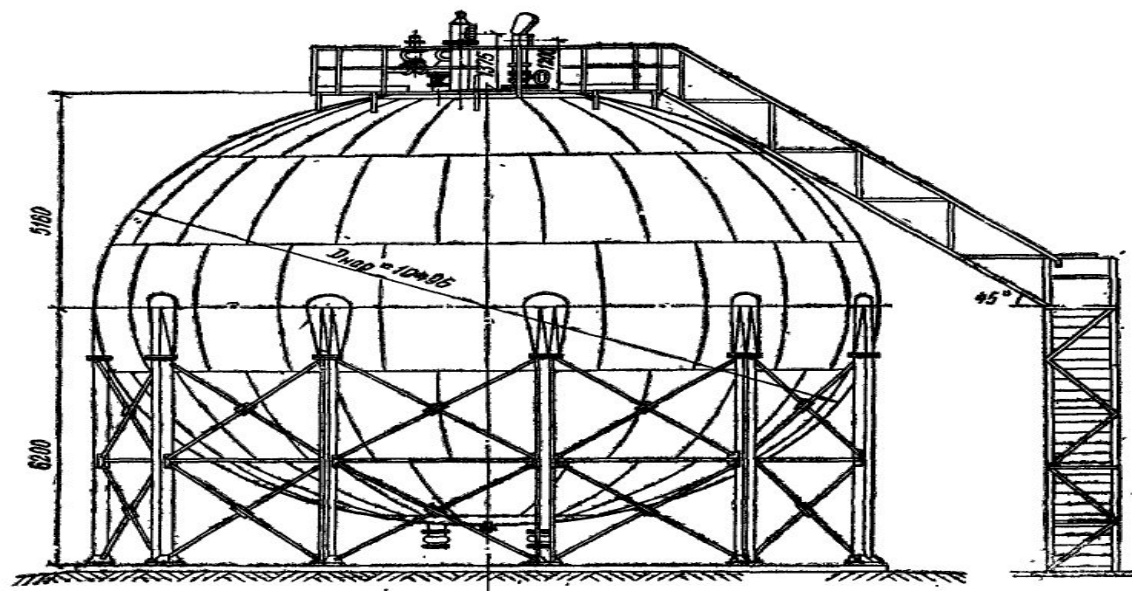
Вертикальный цилиндрический резервуар с конической щитовой кровлей
1-стенка; 2-днище



Горизонтальный цилиндрический резервуар с пологими коническими днищами



Каплевидный резервуар
 вместимостью 2000 м³, круглый в
 плане
 1-днище; 2-стенка; 3-лестница; 4-
 площадка с оборудованием; 5-
 опорное кольцо



Шаровой резервуар
 вместимостью 600 м³

Стенки и днища вертикальных резервуаров изготавливают из листовой стали толщиной 4-30мм; для покрытий вертикальных цилиндрических резервуаров применяют листы толщиной 2,5-6мм; толщина стенки шаровых, горизонтальных и специальных вертикальных резервуаров доходит до 36-38мм.

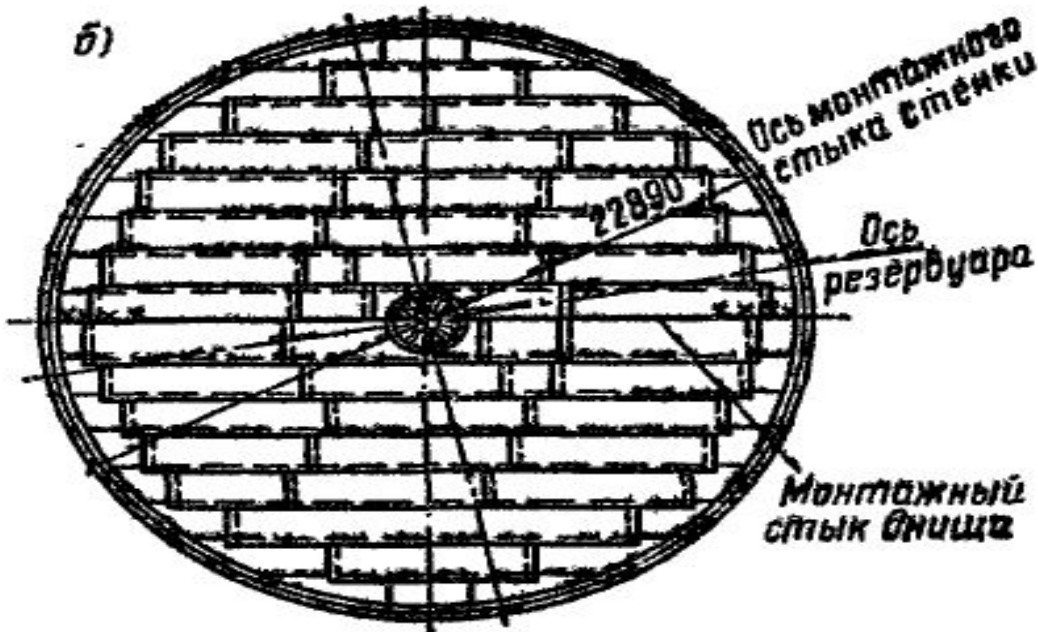
Кроме обычной малоуглеродистой стали класса С38/23 в резервуаростроении получили распространение также низколегированные стали марок 16ГС, 09Г2С и др.(ГОСТ 19282-73). Сталь марки 16ГС можно применять для резервуаров, эксплуатируемых при температуре -40°C , сталь марки 09Г2С- 70°C .

В настоящее время распространен новый метод строительства вертикальных цилиндрических резервуаров из полотнищ заводского изготовления, свернутых в габаритные рулоны и доставляемые в таком виде на монтажную площадку.

Плотнище корпуса и днища вертикального цилиндрического резервуара



а) Плотнище стенки



б) плотнище днища

Масса рулона достигает 60т; сборка механизирована, ручная сварка заменена автоматической, а изготовление рулонов корпуса и днища производится по поточно-конвейерной системе, что в несколько раз сокращает трудоемкость и сроки монтажных работ, уменьшает себестоимость и повышает качество резервуаров.

Влияние процесса рулонирования на сопротивляемость стали хрупкому разрушению может не учитываться при оценке прочности резервуаров, если толщина углеродистой стали не превышает 16мм, а низколегированной и высокопрочной -18мм.

Большое значение для надежности и долговечности резервуаров имеет правильное расположение оборудования – люков, лазов, патрубков и т.п. В одном листе нельзя допускать более трех врезок; расстояние между швами, прикрепляющими оборудование к корпусу резервуара, и продольными швами стенки должно быть не менее 500мм, а расстояние до кольцевых швов – не менее 200мм

2. Вертикальные цилиндрические резервуары для хранения жидкостей с низкой упругостью паров

2.1. Общая характеристика и конструкции резервуаров

Основными элементами вертикального цилиндрического резервуара являются днище, стенка и покрытие.

Оборудование резервуара состоит:

1. арматура (устройство для налива, замера и выпуска жидкости, предохранительных клапанов)
2. приспособления для очистки и осмотра (лестницы, световой люк, замерный люк, лаз).

Главным расчетным элементом наземного вертикального резервуара является стенка, так как днище испытывает незначительные напряжения и толщина его диктуется удобством и надежностью сварки, а также сопротивляемостью коррозии под действием почвенной влаги, отстоя и подтоварной воды.

Наименьшая толщина листов стенки и днища принимается равной 4мм.

Все соединения листов в поясе и поясов между собой следует осуществлять встык для экономии металла, ускорения процесса сварки и упрощения контроля швов. Стыки листов смежных поясов следует располагать в одну линию, так как это обеспечивает удобство автоматической сварки всех швов полотнища.

Все соединения внутри каждого полотнища следует осуществлять встык. Монтажный стык полотнищ днища приходится осуществлять внахлестку, поскольку после раскатки рулонов днища на песчаном основании их сварка с обратной стороны невозможна. Вертикальный резервуар расположен на песчаной подушке, покрытой гидрофобным слоем. Уклон днища от центра периферии, равный 2%, устанавливается для стока и возможности удаления подтоварной воды и отстоя.

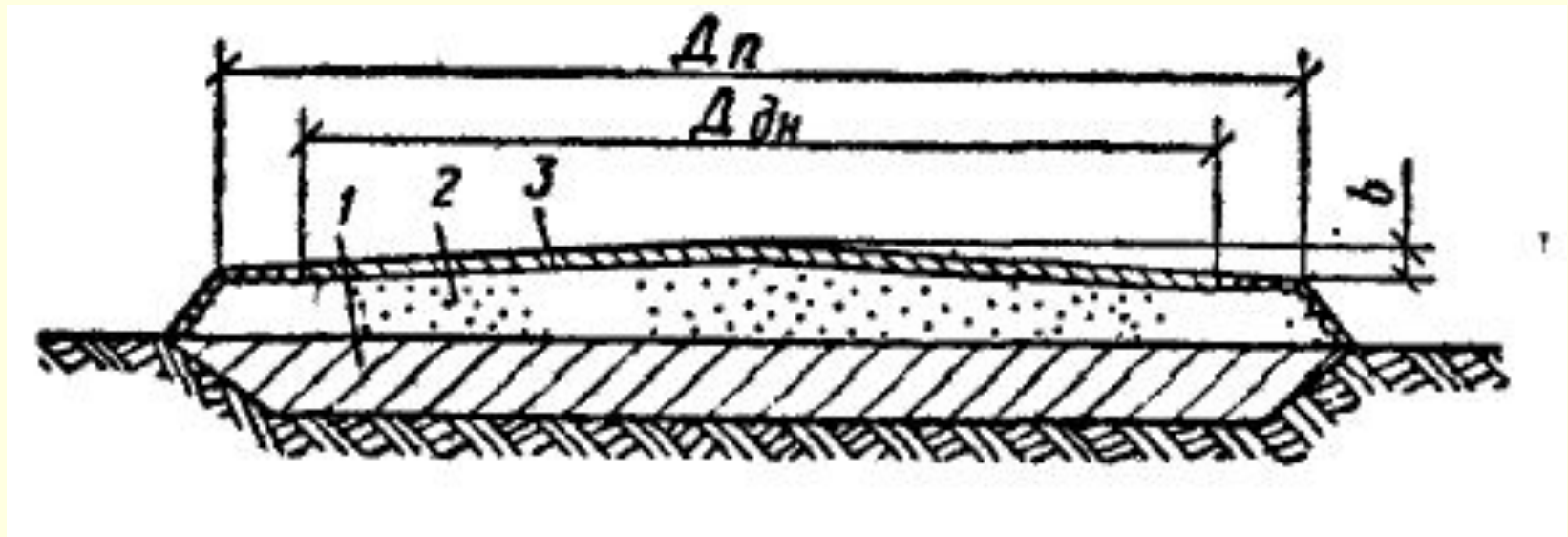
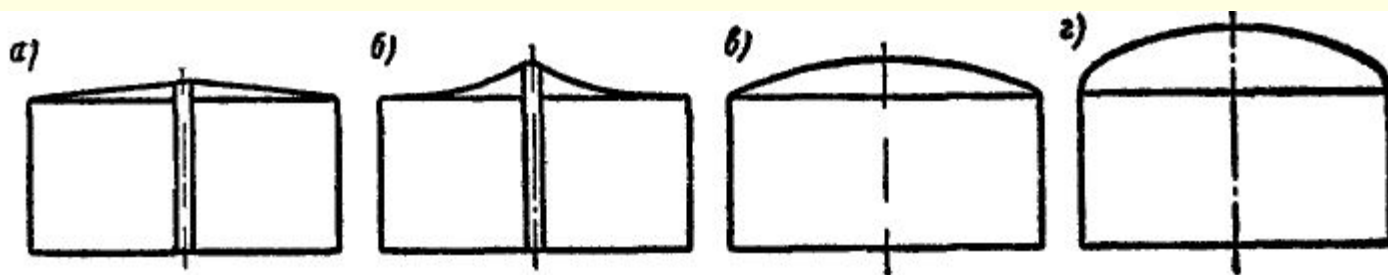


Схема устройства основания под резервуар

1-насыпной грунт;2-песчаная подушка;3-изоляционный слой; D_n -диаметр подушки; $D_{дн}$ - диаметр днища; b -высота конуса

Покрытие выполняют коническим с уклоном 1:20, висячим (эта конструкция не получила распространения), сферическим, топосферическим или сфероцилиндрическим. Второй тип конструкции покрытия требует центральную стойку; в остальных конструкциях стойка используется лишь как инвентарное приспособление и удаляется по окончании монтажа.

Выбор типа покрытия зависит от условий эксплуатации резервуара: если преобладают нагрузки на покрытие, действующие сверху вниз, то следует применять коническое или сферическое покрытие, если преобладают нагрузки, действующие снизу вверх, то предпочтительнее делать топосферическое или сфероцилиндрическое покрытие.

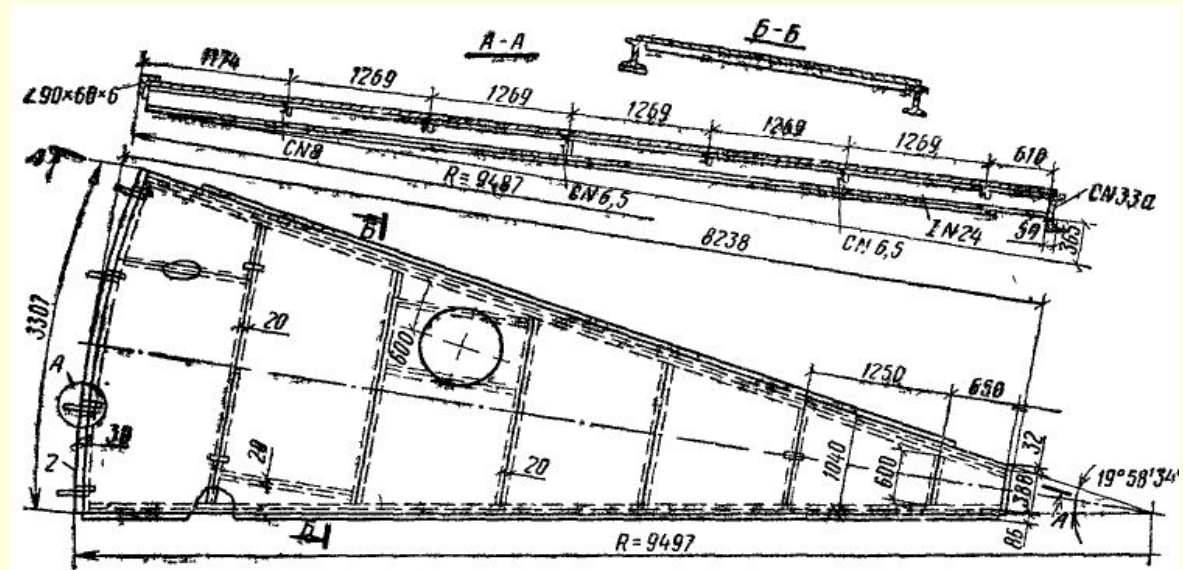
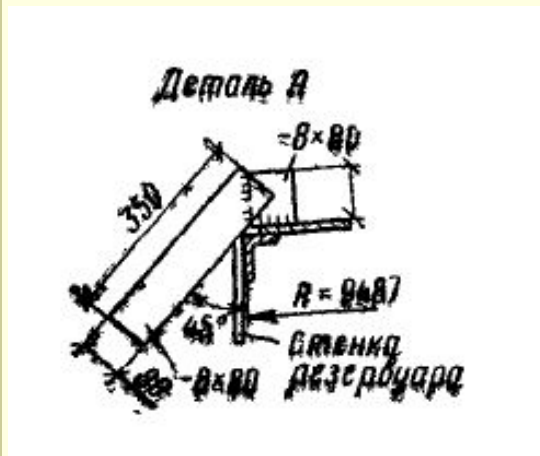


Типы кровель вертикальных цилиндрических резервуаров
а-коническая; б- висячая; в- сферическая; г- сферовидная или сфероцилиндрическая

Ввиду значительной трудоемкости изготовления и монтажа конического покрытия, несущие конструкции которого состоят из ферм, прогонов, радиальных балок и связей, разработано и внедрено покрытие, собираемое из крупноразмерных щитов заводского изготовления, представляющих собой каркас из прокатных двутавров и швеллеров, к которому приварен листовой настил толщиной 2,5мм. К криволинейному краю щита для ускорения монтажа приваривают специальные планки-ловители (деталь А).

Щитовое покрытие по сравнению с покрытием из ферм позволяет значительно уменьшить число монтажных элементов, прогонов, радиальных балок, связей и ускорить монтаж.

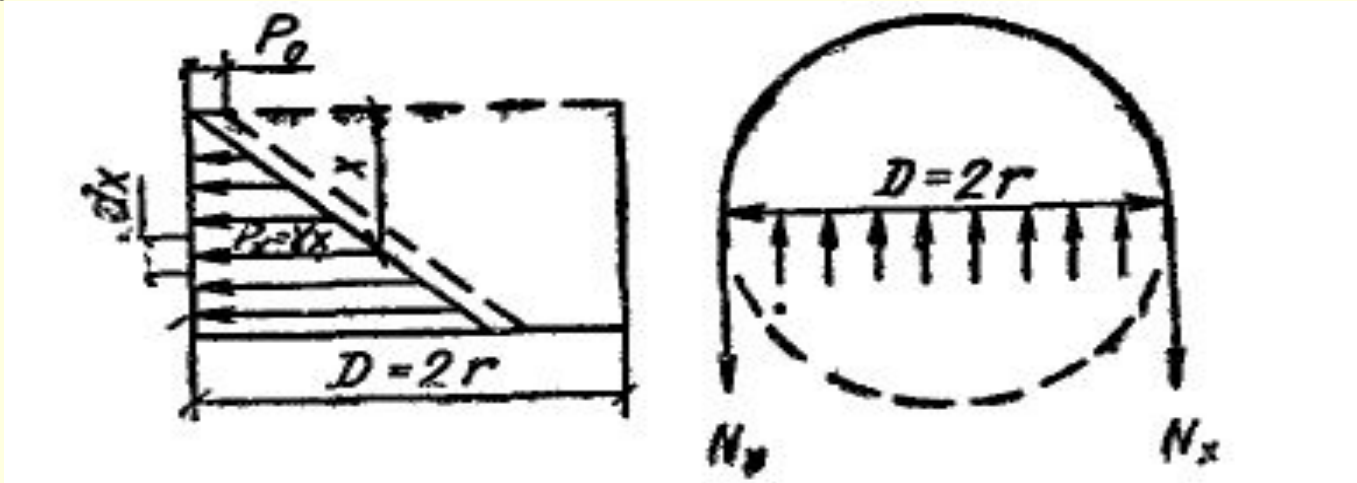
На нефтепромыслах и крупных нефтебазах целесообразно применять вертикальные резервуары вместимостью 10000, 20000м³ и более со сферическим покрытием без стоек; это уменьшит капитальные затраты на 20-30%.



Щит кровли вертикального, цилиндрического резервуара вместимостью 3000 м^3
 (покрытие состоит из 18 одинаковых щитов и центрального круга), деталь А-
 ловитель

2.2. Основы расчета резервуаров

При заполнении резервуара жидкостью в стенке возникают растягивающие напряжения, направленные горизонтально по касательной к окружности.



К расчету стенки корпуса вертикального цилиндрического резервуара

Растягивающее напряжение в поясе резервуара, вызываемое давлением жидкости:

$$\sigma = (\gamma x r) / \delta.$$

Формула для расчета пояса стенки наливного резервуара по первому предельному состоянию на прочность:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= (n\gamma x r) / \delta \leq m R_p^{св}, \\ \text{или} \\ \sigma &= \frac{(n_1 \gamma x + n_2 p_0) r}{\delta} \leq m R_p^{св}, \end{aligned} \right\}$$

Где: n – коэффициент перегрузки, принимаемый для гидростатического давления $n_1=1,1$, для внутреннего давления $n_2=1,15$; m - коэффициент условий работы, принимаемый обычно для стенки резервуара равным 0,8; $R_p^{св}$ - расчетное сопротивление сварного шва встык растяжению; p_0 -давление паровоздушной смеси.

Удельный вес нефти и нефтепродуктов при расчете стенки обычно принимается $\gamma=0,0009\text{кг/см}^3$. Корпус рассчитывают, предполагая, что резервуар наполнен жидкостью до верхней кромки.

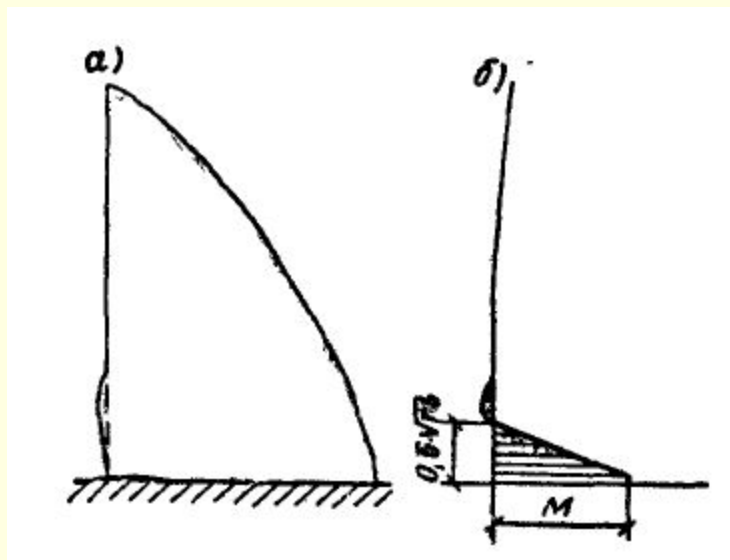
Любая осесимметричная нагрузка вызывает окружное усилие краевого эффекта обратного знака по отношению к окружному усилию безмоментного напряженного состояния:

$$N_{\phi} = p_x r,$$

где $p_x = 1,1\gamma x + 1,15p_0$ — расчетное внутреннее давление;

Учитывая упругое защемление стенки в днище и угловое перемещение сопряжения (см рис.), можно принять расчетный краевой момент:

$$M \approx 0,1 (1,1\gamma H + 1,15p_0) r \delta .$$



Напряженно-деформированное состояние уторной части резервуара
 а- конструкция сопряжения; б-эпюра моментов краевого эффекта

Краевой момент становится равным нулю на расстоянии от нижней кромки корпуса:

$$x = \pi/4r/k \approx 0,6 \sqrt{r\delta}.$$

Вертикальные цилиндрические резервуары могут быть со стенкой постоянной толщины $\delta=4\text{мм}$ и со стенкой переменной толщины $\delta \geq 4\text{мм}$.

2.3. Выбор оптимальных размеров резервуара

Объем стали в резервуаре со стенкой постоянной толщины

$$V_c = \pi r^2 \Delta + 2\pi r H \delta.$$

Здесь первое слагаемое выражает объем стали днища и покрытия, а второе — объем стали стенки; Δ — сумма толщины днища и приведенной толщины покрытия (с учетом каркаса); r — радиус резервуара, H — высота корпуса; δ — толщина стенки

Оптимальная высота резервуара со стенкой постоянной толщины:

$$H_{\text{опт}} = \sqrt[3]{(V \Delta^2) / (\pi \delta^2)}.$$

При расчете резервуара со стенкой переменной толщины по предельному состоянию:

$$H_{\text{опт}} = \sqrt[3]{(m R_p^{\text{CB}} \Delta) / (n \gamma)}.$$

Наибольшее значение вместимости резервуара, для которого рациональна стенка постоянной толщины:

$$V_{\text{макс}} = \pi \delta^2 \sqrt{\frac{(mR_p^{\text{св}})^3}{\Delta (n\gamma)^3}} .$$

3. Резервуары специальных типов для хранения сырой нефти, бензина и сжиженных газов

3.1. Борьба с потерями легких фракций сырой нефти и бензина при хранении

К основным мерам борьбы с потерями легких фракций сырой нефти и бензина при хранении относятся:

Сокращение амплитуды колебаний температур жидкости и паровоздушной смеси;

Хранение жидкости под давлением, создаваемым паровоздушной смесью;

Уменьшение геометрического объема паровоздушного пространства резервуара;

Объединение группы резервуаров газовой обвязкой с паросборником или без него.

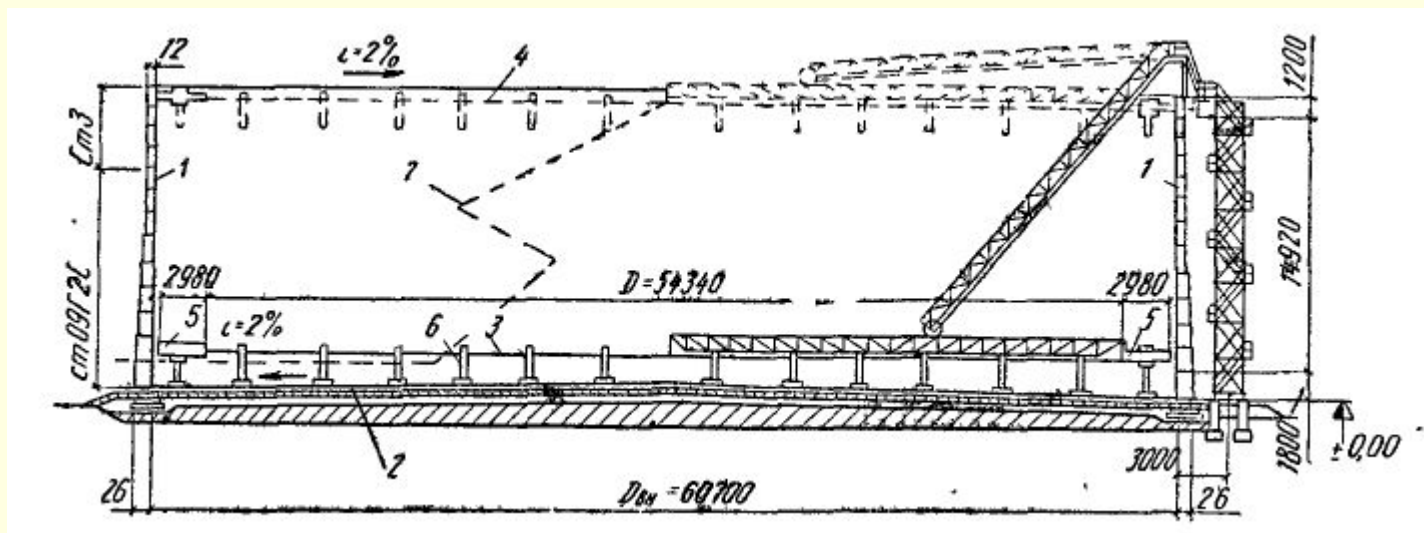
Окраска наземных и надземных резервуаров в светлые тона уменьшает потери легкоиспаряющихся жидкостей и должна применяться независимо от типа резервуара.

Выбор резервуара зависит от физических свойств продукта, оборачиваемости его, вместимости хранилища и района расположения резервуара.

Резкое уменьшение геометрического объема паровоздушного пространства достигается применением резервуаров с плавающей крышей.

3.2. Резервуары с плавающей крышей и резервуары со стационарной крышей и с понтоном.

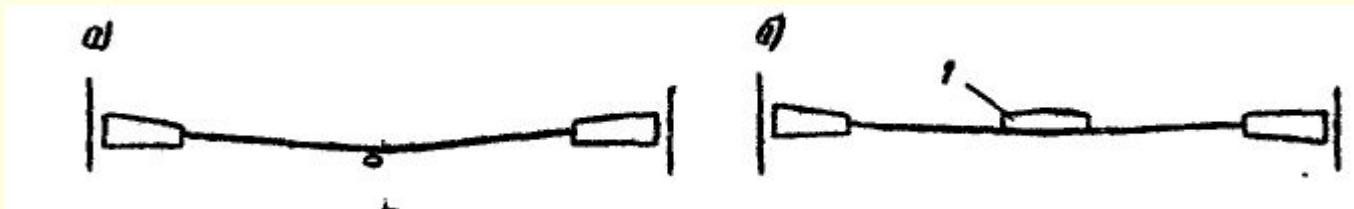
При высокой оборачиваемости сырой нефти и бензина в резервуарах вместимостью 10000-100000м³ рационально применять плавающие крыши, позволяющие значительно сократить потери при хранении легкоиспаряющихся жидкостей в этом режиме эксплуатации.



Резервуар вместимостью 50 тыс. м³ с плавающей крышей
1-корпус;2-днище;3-плавающая крыша в нижнем положении; 4-то же, в верхнем положении; 5-кольцевой короб крыши; 6-стойка;7-водоотводная труба

Резервуары с плавающей крышей имеют люки, лазы, предохранительный и вакуумный клапаны, размещенные на крыше. Вакуумный клапан служит для того, чтобы в резервуаре не образовывался вакуум, когда крыша занимает низшее положение. Через предохранительные клапаны при заполнении резервуара выходит воздух, заключенный между днищем и крышей в ее нижнем положении.

Плавающая крыша представляет собой кольцевой понтон большей частью с одностенчатым диском в центральной части крыши. Плавающую крышу сваривают из стальных листов толщиной 4-5мм и испытывают на непроницаемость.



А- одностенчатая с кольцевым понтоном; б- то же, и газовым пространством; 1-газовое пространство.

Резервуары с открытой плавающей крышей можно применять лишь в южном и среднем климатических поясах.

3.3. Вертикальные цилиндрические резервуары со сфероцилиндрической кровлей

Чтобы хранить бензин под давлением $15-25 \text{ кН/м}^2$, в вертикальных цилиндрических резервуарах применяют сфероцилиндрическое покрытие. Днище резервуара плоское, рулонизируемое. Чтобы периферийная часть днища не поднималась вместе со стенкой под действием внутреннего давления паровоздушной смеси при толщине слоя бензина порядка 300мм, нижний пояс корпуса заанкеривают в грунт при помощи стальных тяжей, расположенных через 2-2,5м. Против верха анкерных консолей располагают внутреннее кольцо жесткости из неравнополочного уголка, швеллера или сварного тавра, обеспечивающее прочность и устойчивость нижнего пояса резервуара. Каждый анкер закрепляют в железобетонной плите, уложенной на дно кольцевого котлована, который имеет трапециевидное сечение, и заполняют обратной засыпкой с послойным трамбованием.

Покрытие резервуара бескаркасное, сфероцилиндрическое, состоящее из цилиндрических лепестков, очерченных двумя сопряженными радиусами по коробовой кривой.

3.4. Горизонтальные цилиндрические резервуары

Горизонтальные цилиндрические резервуары предназначены для хранения нефтепродуктов под избыточным давлением (до 0,2 МПа) и сжиженных газов (под давлением до 1,8 МПа и более). В таких резервуарах при понижении температуры возможен вакуум (до 0,1 МПа).

Объем габаритных резервуаров для нефтепродуктов – до 100 м³, для сжиженных газов – до 300 м³, толщина стенки 3-6 мм, длина 2-30 м.

Надземные резервуары опираются на две седловитые опоры или на две опоры стоечного типа.

Достоинства горизонтальных цилиндрических резервуаров:

- Простота конструктивной формы;
- Поточное изготовление на заводах и перевозка в готовом виде;
- Удобство надземной и подземной установки.

Недостатки:

- Необходимость устройства специальных опор;
- Сравнительная сложность замера продукта.

При проектировании производится расчет стенки корпуса на прочность, расчет стенок корпуса и днищ на устойчивость, расчет корпусов надземных резервуаров на изгиб.

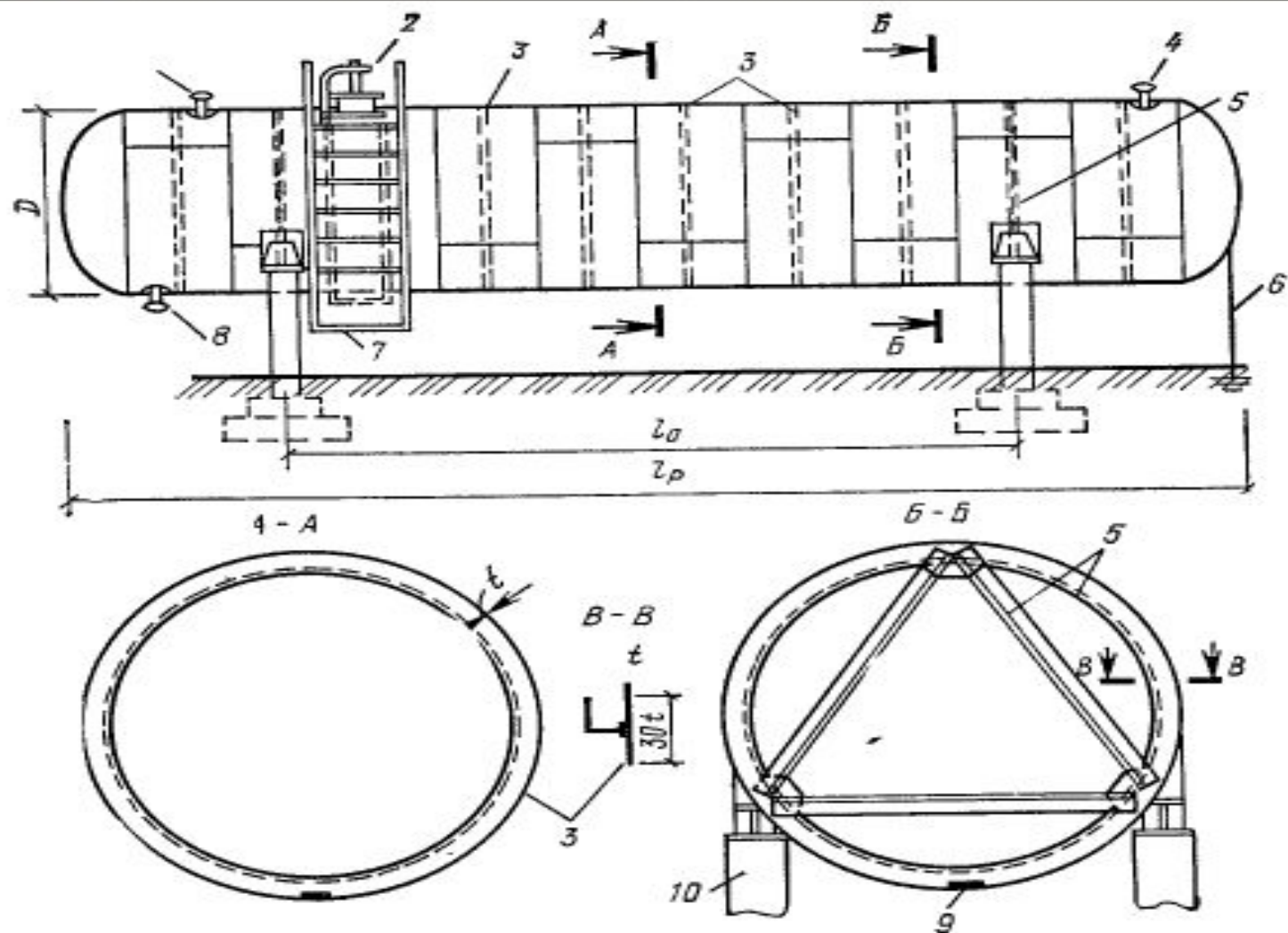
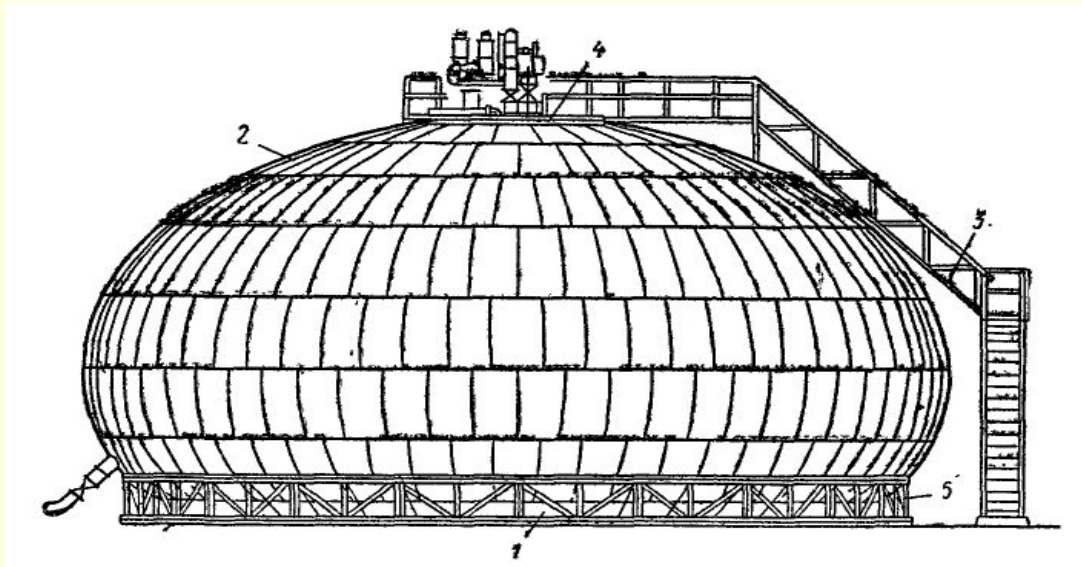


Рис. 22.18. Горизонтальный цилиндрический резервуар

1 — штуцер для загрузки; 2 — лаз для осмотра; 3 — кольца жесткости; 4 — штуцер для вентиляции; 5 — опорная диафрагма; 6 — заземление; 7 — лестница; 8 — штуцер для забора; 9 — щель в уголке; 10 — стойка

3.5. Каплевидные резервуары

Каплевидный резервуар имеет форму, которую принимает круглая капля жидкости, покоящаяся на несмачиваемой горизонтальной плоскости, под действием сил поверхностного натяжения.



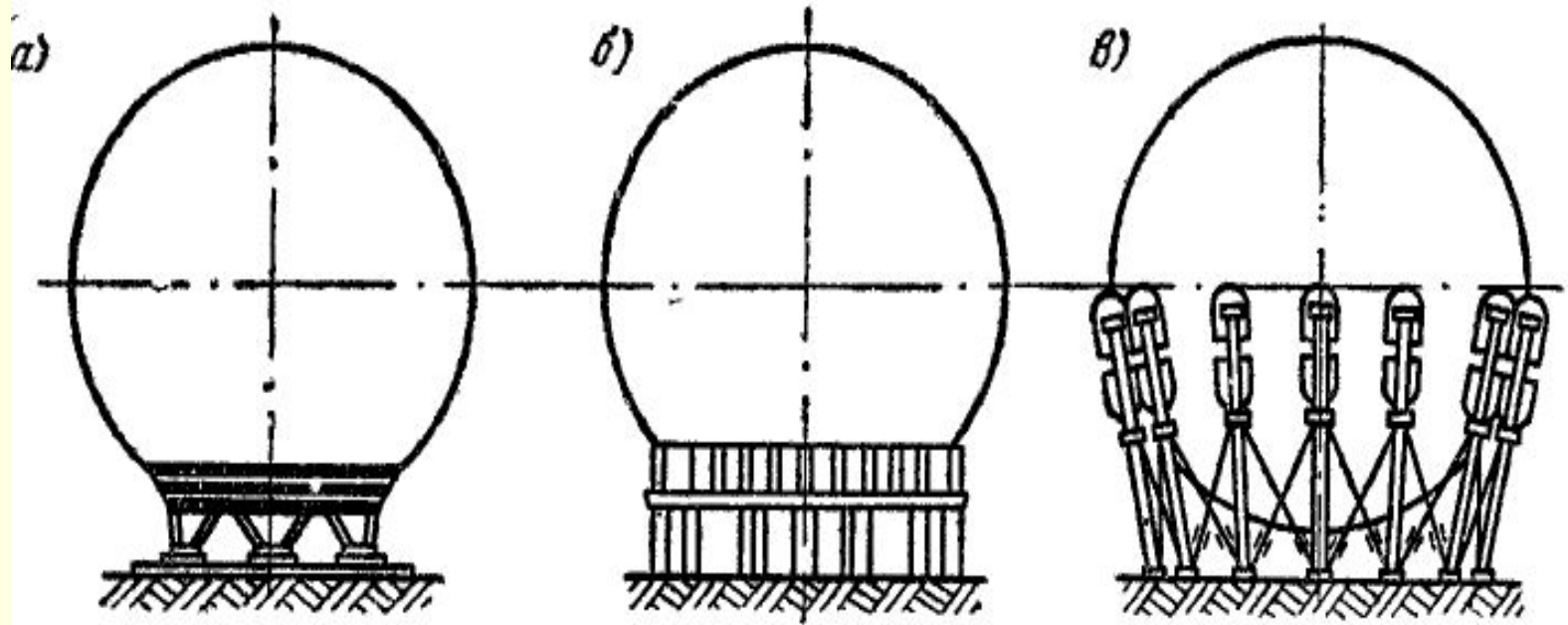
Такой резервуар является равнополочным в условиях основного расчетного режима жидкости и паров и, удерживая пары от рассеивания в атмосфере, позволяет значительно уменьшить потери при хранении бензина, ацетона, спирта и других легкоиспаряющихся жидкостей.

Каплевидные резервуары рационально применять при вместимости 2000-6000м³, избыточном давлении паровоздушной смеси 30-50 кН/м² и оборачиваемости содержимого 6-24 раза в год.

Серьезным недостатком является относительная сложность изготовления и монтажа каплевидных резервуаров, вследствие чего они значительно дороже вертикальных цилиндрических резервуаров (при одинаковой емкости) и не получили широкого распространения.

3.6. Шаровые резервуары

- Шаровые резервуары предназначены для хранения сжиженных газов под высоким избыточным внутренним давлением (до 250 кПа). Объем их колеблется от 600 до 4000 м³.
- Шаровые резервуары опираются на кольцевую опору или на систему стоек, выполняемых из труб или двутавров, причем опирание на стойки более целесообразно, так как обеспечивает большую свободу температурных деформаций и опирание на стальные лапы;
- Для шаровых резервуаров следует применять марки сталей или алюминиевых сплавов с учетом габаритов резервуаров, температуры хранимого продукта и температуры, характерной для района строительства.
- При проектировании производится расчет стенки резервуара на прочность, на устойчивость, расчет опорных стоек и диагональных связей.



Шаровые резервуары
а- на стальных лапах; б- на кольцевой опоре; в- на трубчатых
стойках

4. Критерии выбора новых конструктивных форм резервуаров:

- Снижение удельного расхода металла на единицу объема;
- Технологичность изготовления и монтажа;
- Оптимальный режим работы несущих элементов;
- Использование типовых конструкций с максимальной унификацией элементов;
- Необходимость создания резервуаров большой вместимости.

Газгольдеры

1. Назначение и классификация

Газгольдеры предназначены для хранения и смешивания газов. Их включают в газовую сеть между источником получения газа и его потребителями в качестве аккумуляторов, регулирующих потребление газа.

Газгольдеры применяют на металлургических, коксохимических и газовых заводах, в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, в городском хозяйстве для хранения природного или искусственного газа и т.п.

По конструкции и характеру эксплуатации газгольдеры делят на:

- Газгольдеры переменного объема (мокрые и сухие);
- Газгольдеры постоянного объема.

В газгольдерах переменного объема нормативное давление газа не превышает 4кН/м^2 , поэтому их называют газгольдерами низкого давления. Газгольдеры постоянного объема имеют внутреннее давление газа $250\text{-}2000\text{кН/м}^2$, то есть являются сосудами высокого давления.

2. Газгольдеры переменного объема

Мокрые газгольдеры

Типовые мокрые газгольдеры имеют вместимость 100-30000 м³ и состоят из:

- вертикального цилиндрического резервуара, наполненного водой;
- одного или нескольких промежуточных звеньев(телескопов);
- колокола, представляющего собой открытую снизу цилиндрическую оболочку с пологой сферической кровлей;
- направляющих.

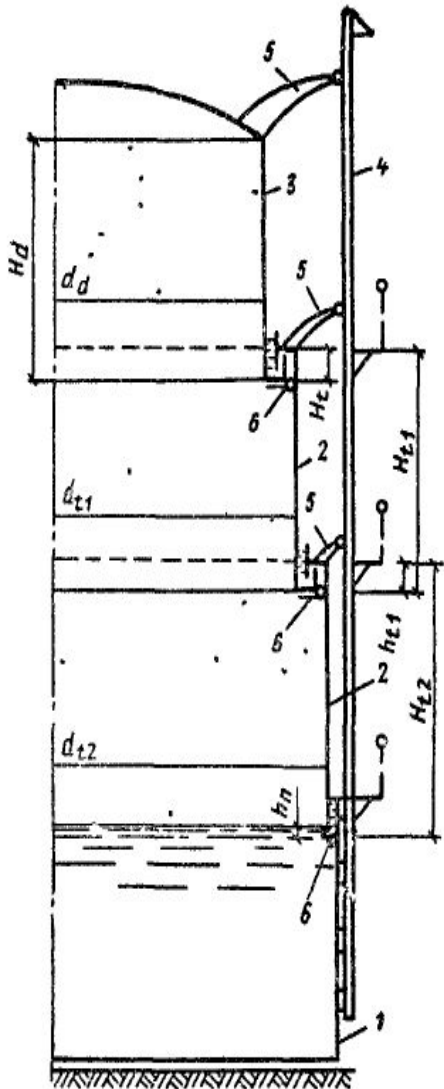
Газгольдеры должны иметь молниеотводы.

Корпус резервуара рассчитывают на гидростатическое давление и давление газа в газгольдере, а телескоп – только на давление газа.

Сферическую крышку колокола рассчитывают на вес покрытия и снеговую нагрузку, после чего проверяют на наибольшее возможное давление газа за вычетом веса покрытия с коэффициентом недогрузки $n=0,9$ без снеговой нагрузки.

Схема мокрого газгольдера при высшем положении колокола и телескопов.

1. Резервуар;
2. Звенья телескопа;
3. Колокол;
4. Направляющая;
5. Верхние направляющие ролики;
6. Нижние направляющие ролики.



Основание мокрого газгольдера состоит из наружного бетонного кольца и подушки из песка по утрамбованному грунту внутри кольца

Мокрые газгольдеры применяют главным образом для хранения газов невысокой концентрации – водяного, генераторного, доменного, каменноугольного газов, не вызывающих интенсивной коррозии стали и допускающих увлажнения.

Основное *достоинство* мокрых газгольдеров заключается в небольших затратах энергии на сжатие газа.

Недостатком мокрых газгольдеров является трудность их обслуживания при отрицательной температуре: приходится подогревать воду в резервуаре и в гидрозатворах, а иногда даже устанавливать газгольдеры в отапливаемых помещениях.

Сухие газгольдеры

Для хранения газов высокой концентрации (99,9% и выше), не допускающих увлажнения, - этилена, пропилена и т.п., наиболее пригодны сухие газгольдеры с кольцевым фартуком по периметру поршня и с давлением газа 4 кН/м². Подобный сухой газгольдер является примером коренного улучшения существующих поршневых сухих газгольдеров со скользящим контактным затвором, недостаточно надежных в эксплуатации.

Достоинства: высокая герметичность, возможность хранения обезвоженных газов высокой концентрации, отсутствии контакта газа с воздухом, водой и маслом, обеспечивающая высокую чистоту газа, простота обслуживания и значительное сокращение эксплуатационных расходов.

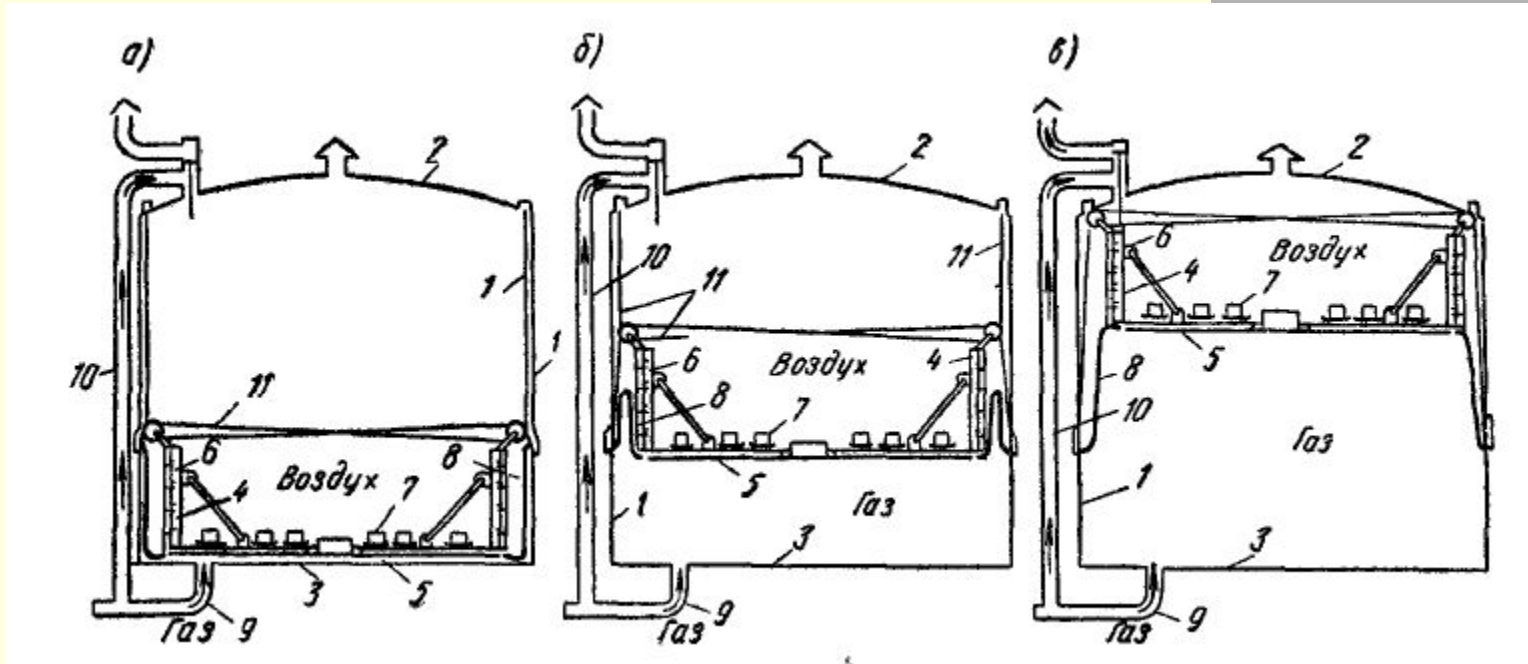


Схема работы сухого газгольдера с кольцевым фартуком

А) Газгольдер порожний;

Б) Газгольдер наполовину заполнен газом;

В) Газгольдер заполнен газом целиком

1. Корпус; 2. Кровля; 3. Днище газгольдера; 4. Каркас шайбы; 5. Днище шайбы;

6. Стенка шайбы; 7. Бетонные грузы; 8. Кольцевой фартук с прорезиненной

ткани; 9. Газовод; 10. Стояк газосброса; 11. Тяга шайбы

Диаметр корпуса газгольдера:

$$D = \sqrt{4V / (\rho H r - p)}$$

Где V- номинальный объем газгольдера, м³.

Корпус необходимо рассчитать на внутреннее избыточное давление газа и проверить его устойчивость при действии веса покрытия и стенки, веса оборудования, снега на кровле, полезной нагрузки на крыше и кольцевой площадке корпуса, ветра.

Устойчивость корпуса сухого газгольдера следует проверять при отсутствии внутреннего давления газа на действие веса покрытия с оборудованием, веса снега на кровле, полезной нагрузки на кольцевой площадке, веса корпуса и ветровой нагрузки.

3.Газгольдеры постоянного объема.

Газгольдеры постоянного объема отличаются от мокрых и сухих газгольдеров отсутствием подвижных частей и значительным давлением газа, в связи с чем объем хранимого в них газа увеличивается во много раз. По сравнению с газгольдерами низкого давления газгольдеры постоянного объема требуют меньшего расхода стали на 1м³ полезного газа, однако затраты на снижение газа в них выше. Поэтому их применяют в тех случаях, когда по условиям технологического процесса газ должен подаваться под давлением от 250 до 2000 кН/м². Газгольдеры постоянного объема применяют двух типов:
Цилиндрические габаритные V=50...300м³
Шаровые негабаритные V=600м³ и более.

Цилиндрические газгольдеры могут быть:

- *Вертикальными*
- *Горизонтальными*

Горизонтальные газгольдеры состоят из двух шаровых и эллипсоидальных днищ и корпуса, собранных и сваренных из отдельных листов встык.

Недостатки вертикальных газгольдеров:

- *Значительная высота, затрудняющая эксплуатацию*
- *Относительно малый объем, приводящий к увеличению числа газгольдеров, коммуникаций и оборудования.*

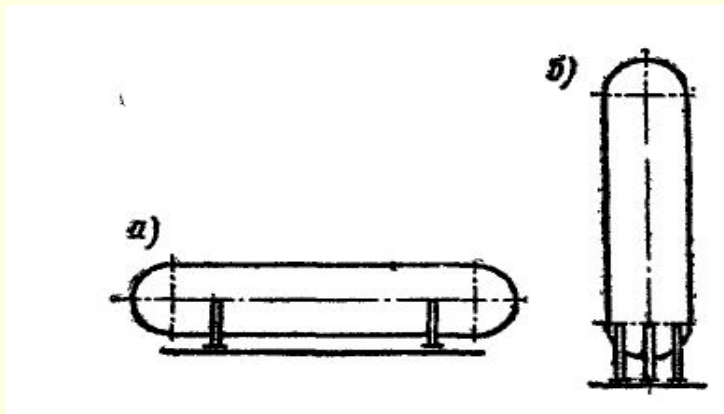


Схема цилиндрических газгольдеров
постоянного объема

- а) горизонтальный
- б) вертикальный

Шаровые газгольдеры

Вследствие минимальной массы на кубометр полезного газа находят широкое применение в различных отраслях промышленности не только для хранения газов, но и как технологические аппараты (реакторы и т.п.) Шаровые газгольдеры рассчитывают и проектируют так же как шаровые резервуары для сжиженных газов.

Бункера

1. Общие сведения

Для хранения и перегрузки сыпучих материалов применяют *бункера и силосы*. *Бункером* называется хранилище сыпучего материала в виде оболочки или коробки с воронкой внизу, высота которого не превосходит полуторного наибольшего поперечного размера. Более высокие хранилища сыпучих материалов называют *Силосами*.

При расчете бункеров вследствие их небольшой высоты можно пренебречь трением содержимого о стенки; *при расчете силосов* необходимо учитывать трение сыпучего материала о стенки хранилища.

Бункера делают с *плоскими стенками, цилиндрические и висячие(гибкие)*. Они могут находиться как внутри здания, так и на открытом воздухе. *Загружают бункера механическим или пневматическим способом* через отверстия, которые устанавливают в верхнем перекрытии. *Разгрузка* происходит под действием веса материала при открывании выпускных отверстий.

Размер выпускного отверстия бункера:

$$a_0 = k(b+80)\operatorname{tg}\varphi,$$

Где a_0 – сторона квадрата или диаметр выпускного отверстия, мм; $k=2,5$ -опытный коэффициент; b - максимальный размер кусков, мм; φ -угол внутреннего трения сыпучей масс, град.

Основные несущие конструкции бункеров с плоскими стенками изготавливают из углеродистой стали, а гибких бункеров – из низколегированной стали.

Монтажные соединения делают сварными и болтовыми. Наименьшую толщину стенки бункеров принимают равной 6 мм.

Для расчета любого элемента бункера надо знать давление на его стенки и днище.

Давление зависит от высоты столба материала, расположенного над рассматриваемой элементарной площадкой, его физических свойств и угла наклона площадки к горизонту. Давление принимается нормальным к стенке или к днищу.

Расчетное вертикальное давление на горизонтальную плоскость в любом месте сыпучей массы:

$$P=1.3\gamma h,$$

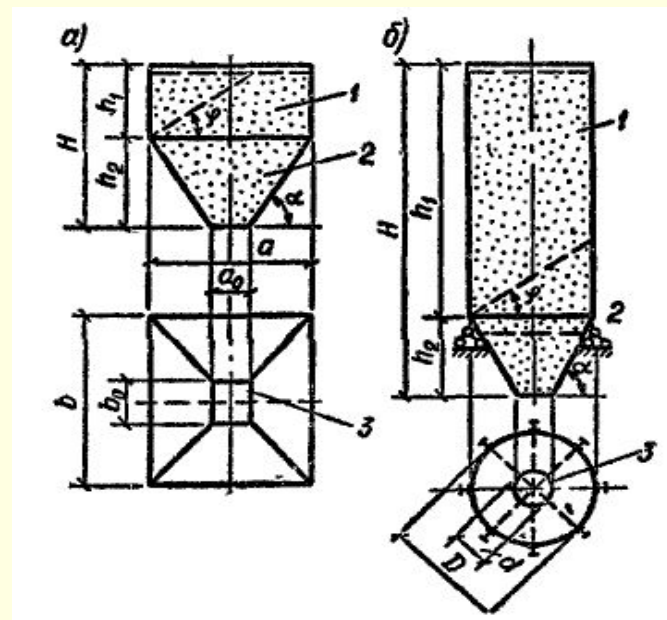
Где 1,3 – коэффициент перегрузки;
 γ - удельный вес материала;
 h - высота столба.

Схемы бункера и силоса

А) бункер;

Б) Силос;

1. Верхняя часть (призматическая или цилиндрическая)
2. Воронка (пирамидальная или коническая)
3. Выпускное отверстие



2. Бункера с плоскими стенками.

Бункера с плоскими стенками состоят из двух частей:

- верхней- призматической
- Нижней- пирамидальной

Такие бункера опираются на балки перекрытия или на колонны.

Одиночные бункера имеют размеры до 12м по длине и ширине, до 8м по высоте при вместимости до 500 м³.

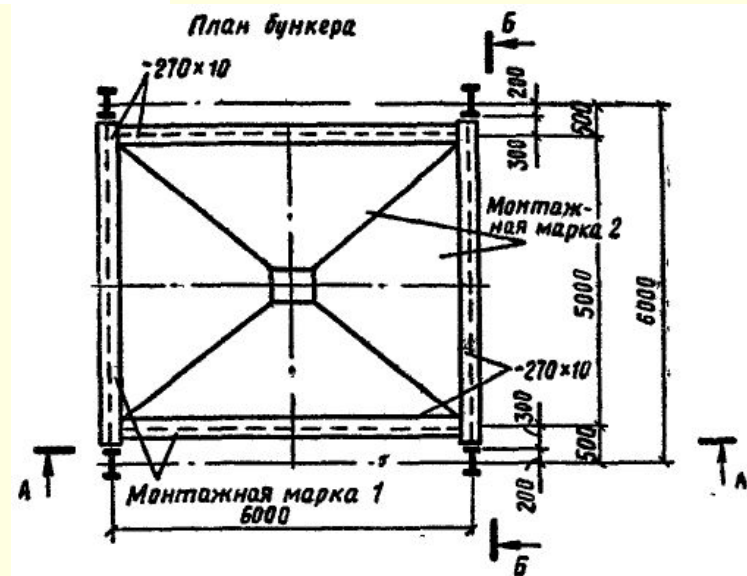
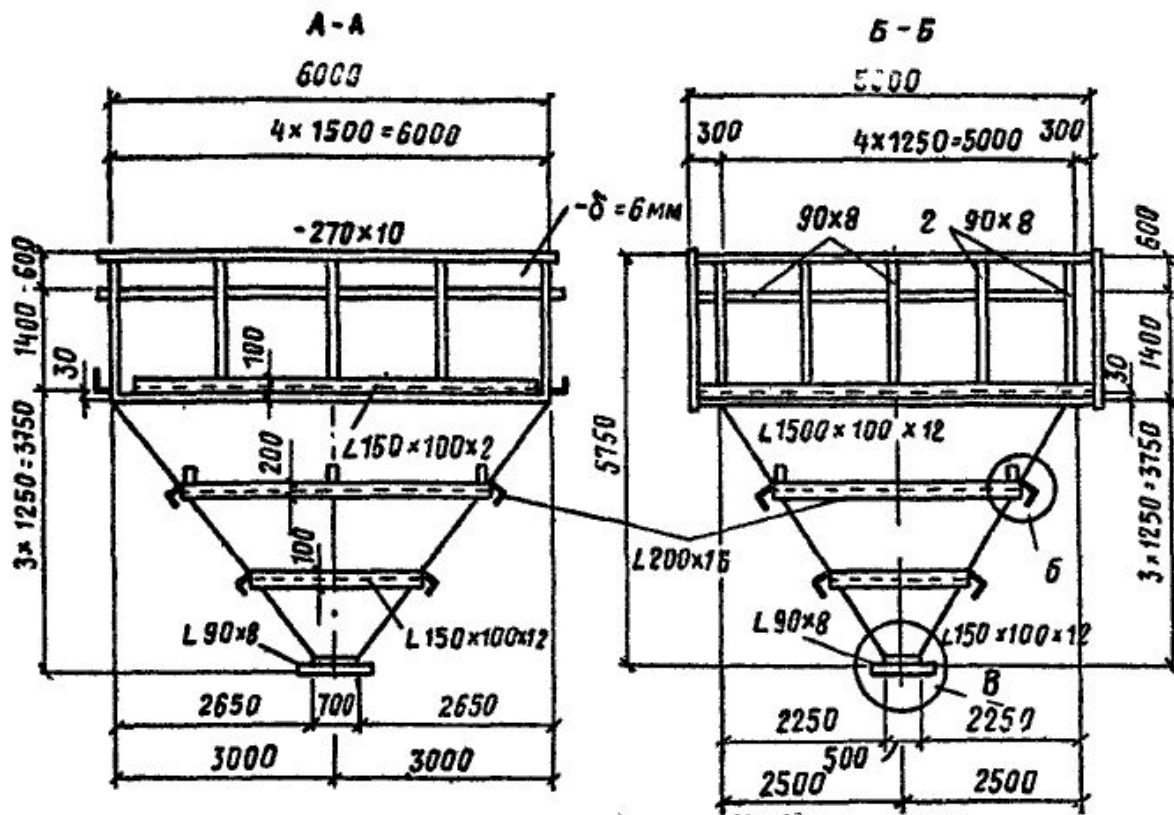
Достоинства бункеров с плоскими стенками:

- Простота изготовления и монтажа;
- Удобство крепления к несущим конструкциям здания;
- лучшее использование площади многоячейковых складов

Недостатки бункеров с плоскими стенками:

- Большая масса

Схема бункера с плоскими стенками



3. Висячие бункера

Гибкий или висячий бункер представляет собой открытую (незамкнутую) горизонтальную оболочку нулевой гауссовой кривизны, подвешенную по двум крайним образующим к продольным балкам, опирающимся на колонны.

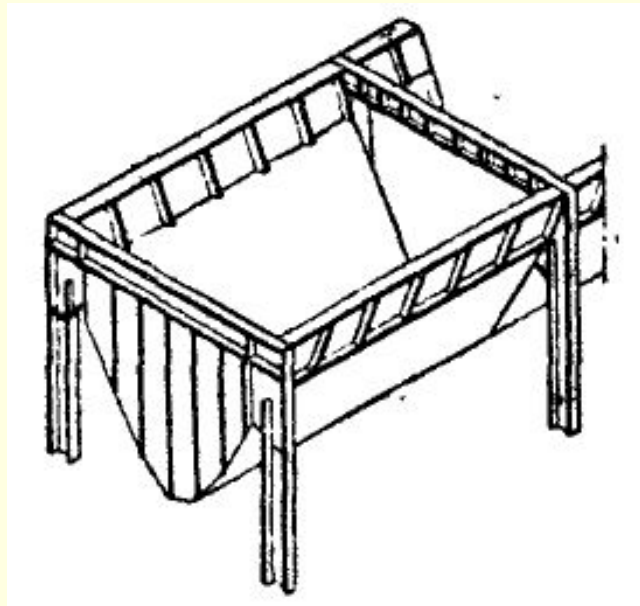
Гибкие бункера могут иметь ширину 6-18 м и любую длину. Их применяют при большой вместимости склада сыпучего материала (руды, угля), составляющей тысячи и десятки тысяч тонн, так как они обеспечивают в этом случае значительную экономию стали и снижение стоимости строительства.

Площадь сечения бункера:

$$F = \frac{4}{3}bh$$

Тангенс угла наклона касательной к кривой у точки подвеса:

$$\operatorname{tg}\alpha = 2h/b$$



Висячие бункера долгое время проектировали с малым отношением h/b . Желательно увеличивать это отношение до 1, то есть применять глубокие бункера, в которых объем мертвого пространства незначителен

Наиболее часто применяемые отношения глубины гибкого бункера к его ширине находятся в пределах от $2/3$ единицы.