

**Тема: Газгольдеры и резервуары, назначение и конструкция.  
Бункеры и силосы. Трубопроводы**

**Задание для студентов**

- 1 Ознакомиться с теоретическим материалом
- 2 Ознакомиться с видеоматериалом по ссылкам:

Что такое газгольдер? Где применяется? Какие бывают?	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=TdShgmyIQL8&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=TdShgmyIQL8&amp;feature=emb_logo</a>
Газгольдер мифы и реальность	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=W2YxcNtnwVw&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=W2YxcNtnwVw&amp;feature=emb_logo</a>
Резервуары, все о резервуарах	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=W8wpcO33TV8&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=W8wpcO33TV8&amp;feature=emb_logo</a>
Как устроен резервуар для хранения нефти	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=6-W5dvhFu2g&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=6-W5dvhFu2g&amp;feature=emb_logo</a>
Силос сварной конструкции	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=YbqEFrU6CWE&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=YbqEFrU6CWE&amp;feature=emb_logo</a>
Силосы (бункеры) для хранения комбикорма	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=1atmQYY9hdQ&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=1atmQYY9hdQ&amp;feature=emb_logo</a>
Силосы для зерна	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=W17oDyC4CaY&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=W17oDyC4CaY&amp;feature=emb_logo</a>
Элеватор. Технология хранения и транспортировки зерна.	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=XARm_8BM66A&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=XARm_8BM66A&amp;feature=emb_logo</a>
Сварка труб большого диаметра..	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=uS1T1sVt-aU&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=uS1T1sVt-aU&amp;feature=emb_logo</a>
Как делают трубы большого диаметра?	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=r2WifnIAOms&amp;feature=emb_logo">https://www.youtube.com/watch?v=r2WifnIAOms&amp;feature=emb_logo</a>

- 3 Составить краткий конспект лекции (объем 4-5 страниц).
- 4 Изобразить конструкцию цилиндрического вертикального резервуара (рисунок 4)
- 5 Изобразить схемы прямоугольного бункера и круглого силоса (рисунок 6)
- 6 Ответить на контрольные вопросы в **письменном** виде
- 7 Найти дополнительную информацию по изготовлению (раскрою) шаровых газгольдеров – см. рисунок 3
- 8.Найти дополнительную информацию о трубах большого диаметра, используемых при строительстве СП-2
- 9.Предоставить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку в течение трех дней со дня выдачи задания.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [iira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:iira.gnatyuk.60@inbox.ru)

## *Теоретические сведения*

**Газгольдерами** называются сосуды, предназначенные для хранения газов.

Природный газ, выходящий из недр земли под большим давлением, передается по трубопроводам на весьма большие расстояния. Вблизи мест потребления газ собирается на газгольдерных станциях, где он используется для покрытия пика расхода и для обеспечения равномерного давления в газопроводе. В условиях поступления газа под высоким давлением и при большом суточном обороте наиболее рациональным типом газгольдеров являются газгольдеры постоянного объема, в которых увеличение количества хранимого газа происходит за счет возрастания давления при неизменном объеме. Газгольдеры постоянного объема используются при больших давлениях (более четырех атмосфер).

Теоретически наиболее выгодной формой газгольдера постоянного объема является шар, так как он при заданном объеме обладает минимальной поверхностью и, кроме того, напряжения в шаровой оболочке, возникающие от внутреннего давления, в два раза меньше по величине, чем в цилиндрической оболочке. Поэтому применение шаровых газгольдеров дает возможность достигать значительной экономии металла. Однако цилиндрические газгольдеры имеют то преимущество перед шаровыми, что они проще в изготовлении и обладают формой, которую легче приспособить к условиям провоза по железной дороге. Поэтому газгольдеры, размеры которых соответствуют габаритам железнодорожного транспорта,—также находят достаточно большое применение. Они выполняются в виде цилиндрических оболочек с шаровыми днищами.

Газгольдеры постоянного объема предназначены для эксплуатации при высоком давлении, поэтому они должны проектироваться и изготовляться с учетом специальных требований, установленных Госгортехнадзором.

Основной нагрузкой для газгольдеров, определяющих толщину стенки, является внутреннее давление, величина которого зависит от назначения сосуда и в отдельных случаях может достигать 100 атм.

Расчет оболочек газгольдеров постоянного давления в соответствии с правилами Госгортехнадзора производится по допускаемым напряжениям.

### **Цилиндрические газгольдеры**

Толщина цилиндрической части газгольдера постоянного давления определяется по формуле

$$s = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi} + c.$$

Здесь  $D$  — внутренний диаметр оболочки. Остальные обозначения см. раньше.

Толщина сферического днища определяется по такой же формуле, как и толщина шарового газгольдера, но прибавка на толщину для штампованных днищ с учетом допуска на штамповку назначается несколько большей:  $e = c + 2$  мм.

Цилиндрические газгольдеры можно располагать горизонтально и

вертикально; Вертикальное расположение менее удобно при эксплуатации, так как создает сильные затруднения, связанные с необходимостью доступа для наблюдений на большой высоте. В связи с этим вертикальное расположение цилиндрических газгольдеров применяется редко.

### Цилиндрические газгольдеры горизонтальные

Устанавливаются на двух опорах и изготавливаются с внутренними кольцами жесткости, расположенными против опор.

Диаметр горизонтальных газгольдеров по условиям провоза по железной дороге не превышает 3,25 м при длине около 23 м. Толщина оболочек газгольдеров обычно изменяется в пределах 8—32 мм.

#### **Преимущества:**

- более простой монтаж по сравнению с вертикальными;
- позволяет более рационально использовать газ из-за большей площади испарения;
- удобство обслуживания.

**Недостаток** – для размещения необходима значительная площадь

### Цилиндрические газгольдеры надземные

Устанавливаются над поверхностью грунта.

**Преимущество** – удобство обслуживания и осмотра,

**Недостаток** - более опасны, чем подземные.

### Цилиндрические газгольдеры подземные

Монтируются в специально вырытые котлованы.

**Преимущество** - высокая безопасность,

Поскольку пропан-бутановая смесь тяжелее воздуха, при утечке она уходит в землю, не смешивается с воздухом и не создает опасности взрыва.

**Недостаток** - дополнительные затраты на установку.

Надземные емкости обычно устанавливают в местах со сложными геологическими условиями, когда нет возможности рыть котлован.

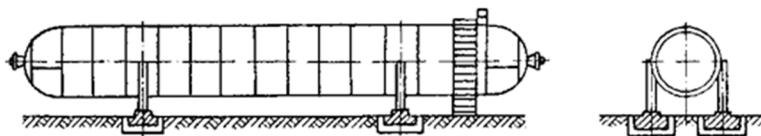


Рисунок 1 – Горизонтальный газгольдер

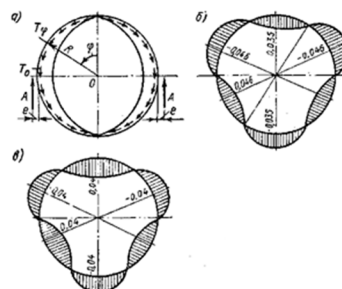


Рисунок 2 - К расчету опорных колец жесткости:

а - схема нагрузки на опорное кольцо,

б и в – Эпюры изгибающих моментов  $\frac{M}{T_0 R^2}$

Расчет опорных колец жесткости горизонтальных резервуаров производится по схеме, приведенной на рис. 2.

Опорное кольцо находится под действием касательных усилий и опорных реакций. Касательные усилия распределены по периметру кольцевого сечения по закону

Где

$$T_{\varphi} = T_0 \sin \varphi,$$

$$T_0 = \frac{Q}{\pi R}.$$

Опорные реакции стоек равны

$$A = \frac{Q}{2}.$$

Здесь  $Q$  — вес газгольдера, приходящийся на одну опору.

При установке опорных стоек без эксцентриситета эпюра изгибающих моментов в различных сечениях опорного кольца будет иметь вид, указанный на рисунке 2, б.

При этом абсолютные значения максимальных и минимальных значений не будут равны между собой:

$$\left. \begin{aligned} M_{\max} &= 0,046 T_0 R^2; \\ M_{\min} &= -0,036 T_0 R^2. \end{aligned} \right\}$$

Поэтому с целью выравнивания абсолютных значений изгибающих моментов, опорные стойки устанавливают с эксцентриситетом, равным

$$e = 0,003 R.$$

Тогда абсолютные значения изгибающих моментов выравниваются, как это показано на эпюре рисунка 2, в. При этом они равны

$$M_{\max} = -M_{\min} = 0,04 T_0 R^2.$$

При определении напряжений в поперечное сечение кольца включается площадь сечения пояса корпуса шириной, равной  $30s$ .

Теоретический вес оболочки цилиндрического газгольдера с полушаровыми днищами составляет.

$$q = 1,5c \frac{\gamma p}{[\sigma]}.$$

Здесь  $\gamma$  — удельный вес стали;

$c$  — коэффициент, зависящий от отношения длины корпуса к диаметру (при оптимальном отношении

$$\frac{L}{D} = 6 \quad c = 1,35$$

Из формул видно, что при всех прочих равных условиях повышение давления уменьшает расход стали.

Обычно давление газгольдеров составляет 4—18 атм, но в отдельных случаях может быть принято и большим.

Ветровая нагрузка определяется по формуле

$$q = k_a Q,$$

где  $Q$  — скоростной напор ветра, определяемый в зависимости от географического района,  
 $k_a$  — аэродинамический коэффициент, принимаемый: для шарового газгольдера 0,7, для цилиндрического поперек оси 0,8, а вдоль оси 0,9

### Цилиндрические газгольдеры вертикальные

**Преимущество:** занимает меньшую площадь.

**Недостатки:**

- затруднения в связи с необходимостью доступа для наблюдений на большой высоте.
- при подземном варианте использования необходима большая глубина закапывания

В связи с этим вертикальное расположение цилиндрических газгольдеров применяется ограниченно.

### Шаровые газгольдеры

**Шар** - теоретически наиболее выгодная формой газгольдера постоянного объема, так как он при заданном объеме обладает минимальной поверхностью (поверхность шара примерно на четверть меньше, чем поверхность куба такого же объема).

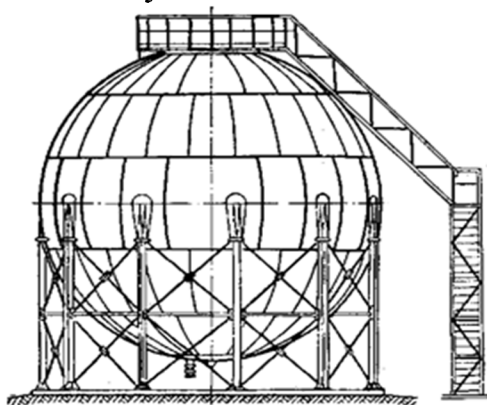


Рисунок 3 – Шаровой газгольдер

Шаровые газгольдеры устанавливаются на стойках. По условиям обеспечения статического равновесия число опорных стоек шарового газгольдера могло бы быть равно трем, однако с целью уменьшения величины опорных реакций, передаваемых на оболочку в виде сосредоточенных усилий, число стоек принимают значительно большим — обычно 6—12.

**Достоинство** — возможность экономии металла.

**Недостаток** — сложность изготовления.

Диаметр шаровых газгольдеров обычно принимается равным 10—12 м. По нормам Госгортехнадзора пробное давление при гидравлическом испытании сварных сосудов должно приниматься при рабочем давлении  $p < 5$  атм — 1,5  $p$ , но не менее 2 атм; при рабочем давлении  $p \geq 5$  атм — 1,25  $p$ , но не менее  $(p + 3)$  атм.

Толщина оболочки шарового газгольдера определяется по следующей формуле:

$$s = \frac{pD}{4[\sigma]\varphi} + c.$$

Здесь  $s$  — толщина шаровой оболочки;

$p$  — расчетное (избыточное) внутреннее давление;  $D$  — внутренний диаметр оболочки;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение на растяжение;

$\varphi$  — коэффициент прочности сварных швов;

$c$  — прибавка к расчетной толщине стенки.

Прибавка к расчетной толщине, компенсирующая минусовый допуск листового проката, принимается только для оболочек толщиной до 20 мм. При этом  $c = 1$  мм.

Кроме того, оболочка должна быть проверена на гидростатическое давление при испытании газгольдера наливом воды.

Для того чтобы избежать местного изгиба в оболочке, оси опорных стоек целесообразно направлять по касательным к ней.

Для обеспечения этого при опирании по большому кругу оси стоек будут вертикальными, а при опирании по малому кругу они должны быть наклонными, в соответствии с направлением касательных к оболочке. В случае несовпадения осей стоек с касательными к оболочке, для восприятия нормальных составляющих опорных реакций необходимо предусмотреть соответствующее подкрепление, которое, в зависимости от величины усилий, может быть принято в виде местного утолщения опорного пояса оболочки или в виде кольцевого ребра жесткости в плоскости опорного круга. Корпус резервуара опирается на верхние плиты стоек через специальные башмаки, приваренные к его наружной поверхности.

Для обеспечения жесткости опорного контура, необходимой при передаче горизонтальных ветровых нагрузок, отдельные опорные стойки должны быть соединены между собой в одно целое при помощи перекрестных связей.

### Вертикальные цилиндрические резервуары

Применяются для хранения нефти. Основные конструктивные элементы (рисунок 1):

**Плоское днище** лежит на песчаном основании и испытывает незначительное сжатие. Поэтому его толщина определяется не по условиям прочности, а назначается конструктивно.

При  $D \leq 18$  м толщина листов днища принимается  $s = 4$  мм;

при  $D = 18 \dots 25$  м  $s = 5$  мм,

при  $D > 25$  м  $s = 6$  мм.

**Цилиндрический корпус** резервуара является его главным рабочим элементом, воспринимающим давление находящейся в нем жидкости. Состоит из отдельных поясов.

**Покрывтия** резервуаров имеют коническую форму с уклоном 1:20 и воспринимают нагрузку от веса снега, от собственного веса и веса людей, которые могут на нем находиться.

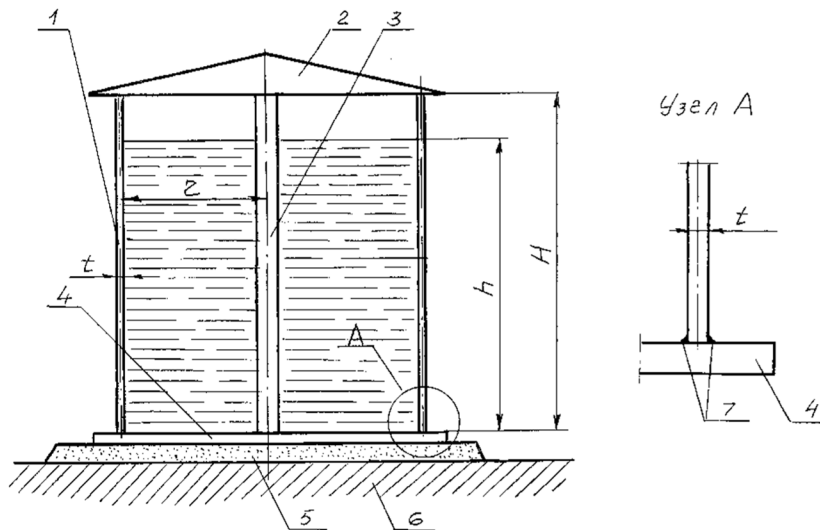


Рисунок 4 - Цилиндрический вертикальный резервуар

- 1 - корпус
- 2 - покрытие
- 3 - опора стойки
- 4 - плоское днище
- 5 - песчаная основа
- 6 - поверхность грунта
- 7 - сварные швы

Листы покрытия работают как пластинки, опертые по контуру на элементы каркаса. Нагрузка, приходящаяся на них, сравнительно небольшая и поэтому их толщина обычно мала. Для настила применяются листы толщиной 2,5 мм. Элементы каркаса покрытия опираются на корпус резервуара (иногда применяется для их опоры еще средняя вертикальная стойка) и, воспринимая нагрузку от листов, работают как свободно опертые балки.

Оптимальными являются размеры вертикального цилиндрического резервуара такие, при которых вес днища и покрытия вдвое меньше веса корпуса.

При этом формулы для определения оптимального значения высоты резервуара с постоянной толщиной стенки имеет вид:

$$H_{\text{опт}} = \sqrt[3]{\frac{V \Delta^2}{\pi s^2}};$$

Здесь  $V$ —емкость резервуара;

$s$ —толщина стенки;

$\Delta$  — сумма толщин днища и приведенной толщины покрытия с учетом каркаса;

$[\sigma]$ —допускаемое напряжение,

$\gamma$ — удельный вес жидкости.

Оптимальная высота больших резервуаров (до 10 000 м<sup>3</sup>) составляет около 12 м.

Полученное оптимальное значение высоты резервуара следует округлить до ближайшего размера, кратного ширине листов.

Удельный расход стали в вертикальных резервуарах уменьшается с увеличением объема резервуара. Поэтому вертикальные резервуары следует

строить наибольшей емкости, возможной при данных условиях.

Расчет вертикальных цилиндрических резервуаров производится по предельному состоянию.

Формула для определения толщины стенки имеет следующий вид:

$$s = \frac{n\gamma(H-y)r}{mR_p^{св}},$$

где  $s$  — толщина пояса цилиндрического корпуса;

$H$  — высота корпуса;

$y$  — расстояние нижней кромки листа от днища;

$n$  — коэффициент перегрузки, принимаемый для гидростатического давления равным 1,1;

$m$  — коэффициент условий работы, принимаемый для корпуса резервуара равным 0,8;

$R_p^{св}$  — расчетное сопротивление сварного стыкового шва при растяжении;

$\gamma$  — удельный вес жидкости.

#### *Особенности сварки вертикальных резервуаров*

Все соединения листов в поясе осуществляют **встык**.

Соединение поясов между собой осуществляют **встык** или **внахлестку**.

**При соединении встык** стыки листов смежных поясов следует располагать в одну линию, так как это обеспечивает удобство автоматической сварки.

**При соединении внахлестку** пояса располагаются разбежку; расстояние между этими стыками принимается равным половине длины листа

**Монтажный стык** полотнищ днища осуществляют **внахлестку**, поскольку после раскатки рулонов днища на песчаном основании их сварка с обратной стороны невозможна.

**Преимущество** — удельный расход стали в вертикальных резервуарах уменьшается с увеличением объема резервуара.

**Недостаток** — несущая способность верхних листов корпуса, расположенных в слабо нагруженной зоне, используется недостаточно полно.

### **Горизонтальные цилиндрические резервуары (цистерны)**

Горизонтальные цилиндрические резервуары имеют несколько больший удельный расход металла (на единицу емкости) по сравнению с вертикальными цилиндрическими резервуарами, но при сравнительно небольших объемах являются экономически целесообразными. Они имеют весьма широкое применение на небольших нефтебазах отдельных предприятий.

**Днища** горизонтальных резервуаров бывают

- плоскими (типовыми),
- коническими (при давлении до 2 ат),
- сферическими (при давлении более 2 ат)

**Выбор типа днища зависит от величины расчетного давления, диаметра резервуара и технологических условий.** При высоких давлениях



(более 2 атм) применяются сферические днища. При одинаковой толщине днища и корпуса радиус сферического днища по условиям равнопрочности может быть равен диаметру корпуса резервуара.

Для снижения местных напряжений в сварном шве, прикрепляющем днище к корпусу, целесообразно в штампованных днищах устраивать отбортованный поясok шириной не менее 60 мм, сопрягаемый со сферой по радиусу

$$r' = \left( \frac{1}{7} \div \frac{1}{7,5} \right) r,$$

где  $r$  — радиус сферической части днища.

В местах передачи на оболочки сосредоточенных нагрузок необходимо устраивать кольца жесткости.

Надземные горизонтальные резервуары устанавливаются на опоры. При этом цилиндрическая оболочка резервуара под действием веса жесткости и собственного веса работает на изгиб как пространственная балка. Опорные кольца жесткости двух-опорного горизонтального резервуара воспринимают сдвигающие усилия, передаваемые оболочкой, работающей на гидростатическое давление и реактивные давления от опор.

#### **Преимущества:**

- простота их конструктивной формы,
- возможность серийного изготовления,
- удобство транспортировки

**Недостаток** - большой удельный расход металла (на единицу емкости) по сравнению с вертикальными цилиндрическими резервуарами

Расчет горизонтальных цилиндрических резервуаров (при полном заполнении жидкостью) производится по схеме балки, свободно опертой по концам, нагруженной равномерно распределенной, нагрузкой интенсивностью

$$q = \gamma \pi r^2,$$

где  $\gamma$  — удельный вес жидкости.

По такой же расчетной схеме может быть, учтено и действие собственного веса горизонтального резервуара.

При этом интенсивность равномерно распределенной нагрузки от собственного веса балки с кольцевым поперечным сечением

$$q_1 = 2\pi r s \gamma_m,$$

где  $\gamma_m$  — удельный вес металла.

### **Шаровые резервуары**

Применяют для хранения сжиженных газов и продуктов нефтепереработки (бензин, керосин, дизельное топливо) и жидкой продукции химических производств, которые необходимо хранить под значительным давлением.

**Для этих условий шаровые резервуары оказываются рентабельными при емкости 400—1000 м<sup>3</sup>.**

Устанавливаются на железобетонных колоннах.

Окрашиваются в **белый** цвет для уменьшения перегрева резервуара.

Шаровые резервуары собирают при помощи сварки из отдельных выгнутых (вальцованных или штампованных) лепестков.

#### Схемы раскроя:

- а) параллельно-меридиональная,
- б) экваториально-меридиональная,
- в) меридиональная,
- г) «футбольная»

Наиболее распространены схемы **а** и **б**

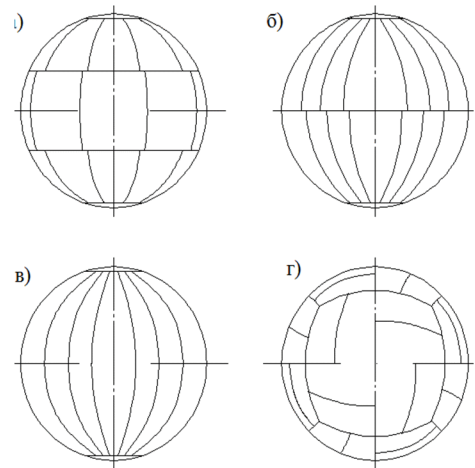


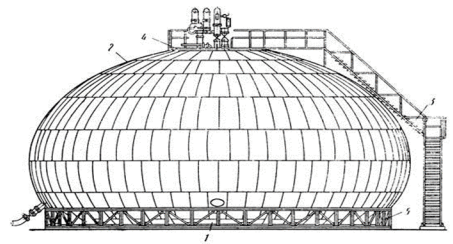
Рисунок 5 - Схемы раскроя сферы

### Каплевидные резервуары

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

Применяются ограниченно (для хранения нефтепродуктов с высокой упругостью паров). Опираются на мягкий грунт.

Так же, как и шаровые резервуары, собираются из штампованных лепестков, которые имеют переменный радиус кривизны в вертикальной плоскости.



Широкого распространения не получили из-за высокой себестоимости.

### Бункеры и силосы

**Бункеры и силосы** – сосуды цилиндрической или призматической формы, предназначенные для хранения и перегрузки сыпучих материалов.

**Бункер** рассчитан на кратковременное хранение материалов, **силос** предназначен для длительного хранения материалов.

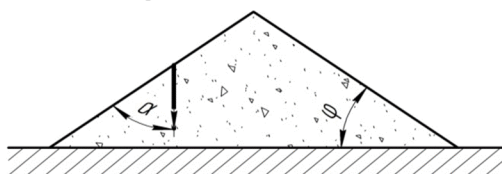
*Основные нагрузки* для бункеров и силосов:

- давление сыпучего материала на стенки в вертикальном и горизонтальном направлениях,
- собственный вес конструкции
- атмосферное воздействие (снег, ветер).

Высота верхней части бункера значительно меньше, чем у силоса (см. рисунок 6).

Наименьший угол наклона стенки к горизонту не должен быть меньше угла естественного откоса сыпучего материала  $\varphi$  и определяется из условия

$$\alpha = \varphi + c,$$



где  $\varphi$  - угол естественного обрушения сыпучего материала (угол, образованный свободной поверхностью сыпучего вещества с горизонтальной поверхностью),  
 $c = 5...10^\circ$ .

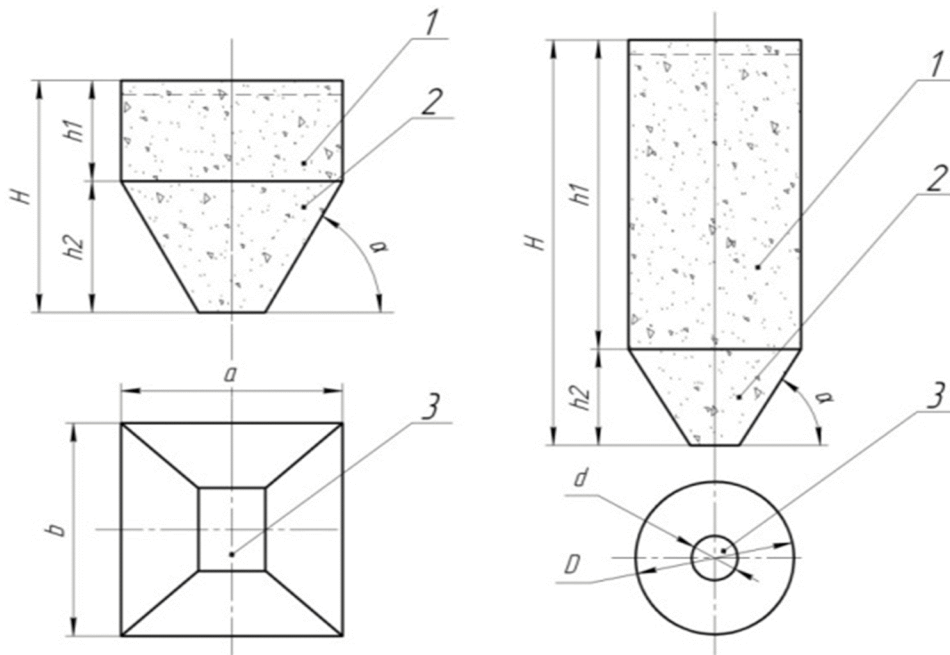


Рисунок 6 - Схемы прямоугольного бункера и круглого силоса

1 – вертикальная стенка

2 – воронка

3 – выпускное отверстие

$\alpha$  - наименьший угол наклона стенки к горизонту

Емкость бункера и его высота являются заданными размерами.

Основной нагрузкой для бункеров и силосов является давление сыпучего материала. Кроме того, они должны воспринимать собственный вес конструкции и атмосферное воздействие (снег, ветер).

Сыпучие материалы оказывают давление на стенки в вертикальном  $q$  и горизонтальном  $p$  направлениях.

Эти давления определяются для бункеров по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} q &= n\gamma y; \\ p &= n\gamma y \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = kq. \end{aligned} \right\}$$

Здесь  $k$ —отношение горизонтального усилия к вертикальному;

$\varphi$ — угол естественного откоса сыпучего материала;

$\gamma$ — объемный вес материала;

$y$ —расстояние от поверхности сыпучего материала до рассматриваемого сечения;

$n$ —коэффициент перегрузки.

Характеристики некоторых сыпучих материалов приведены в таблице 1.

Нормальное давление сыпучего материала на наклонную стенку определяется по следующей формуле:

$$q_n = p \sin^2 \alpha + q \cos^2 \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол наклона плоскости к горизонту.

Прямоугольный бункер образован плоскими стенками, состоящими из обшивки и горизонтальных ребер жесткости. Он примыкает к балкам, через которые вся его нагрузка передается на стойки, скрепленные с фундаментом.

Нижняя часть бункера — воронка — является его наиболее нагруженной частью. Обшивка воронки воспринимает нормальное давление. Расчет обшивки производится по схеме пластинки конечной жесткости, свободно опертой на контур, образованный горизонтальными ребрами жесткости и пересечениями граней.

Таблица 1- Характеристики сыпучих материалов

Наименование материала	Объемный вес $\gamma$ в кг/м <sup>3</sup>	Угол естественного откоса $\varphi$ в град	Отношение горизонтального давления к вертикальному $k$	Коэффициент трения $f$	
				по металлу	по бетону
Зерно	0,8	25	0,406	0,37	0,40
Песок (сухой)	1,6	35	0,271	0,50	0,70
» (мокрый)	2,0	25	0,406	0,35	0,45
Уголь антрацит	0,9	30	0,333	0,30	0,50
Кокс	0,6	45	0,172	0,47	0,84
Цемент	1,6	30	0,333	0,30	0,58

При расчете отдельных пластинок нормальное давление, приходящееся на них, считают в пределах каждой секции постоянным и определяют его по среднему значению в зависимости от угла наклона граней.

Расчет ребер жесткости производится по различным схемам в зависимости от конструктивного оформления узла сопряжения ребер пересекающихся граней

Для малых и средних бункеров плоскости ребер жесткости располагают нормально к плоскости обшивки. При этом из-за трудности подгонки в узле пересечения граней ребра не свариваются между собой, поэтому узел при расчете считается шарнирным.

В этом случае ребра рассчитываются как свободно опертые балки на двух опорах, нагруженные равномерно распределенной нагрузкой. Интенсивность распределенной нагрузки определяется по среднему значению нормального давления и среднему значению размеров примыкающих участков.

В тяжелых бункерах с целью получения экономии металла узел соединения ребер выполняется жестким. При этом для упрощения конструкции узла плоскости ребер жесткости располагаются горизонтально под некоторым углом к обшивке бункера.

В этом случае расчетная схема для ребер жесткости может быть принята в виде прямоугольной рамки с жесткими узлами.

При определении напряжений в ребрах жесткости в расчетные характеристики их поперечных сечений включается прилегающий к ним поясok шириной  $30s$ .

Прямоугольные бункеры удобны для объединения их в многоячейковых конструкциях, однако наличие в них большого числа элементов, работающих на изгиб, приводит к недостаточно рациональному использованию в них материала, что в наибольшей степени сказывается в случаях применения бункеров большого объема, которые поэтому более целесообразно изготавливать из оболочек.

Круглые бункеры и силосы состоят из цилиндрической верхней части и конической воронки. Оболочка круглых бункеров и силосов работает почти исключительно на растяжение, и поэтому они являются более экономичными по весу, чем прямоугольные.

### **Сварные трубы большого диаметра**

К ним относятся трубы для передачи газов, жидкостей на большие расстояния ( $D > 600$  мм);

Стальные трубы широко используются в производственных схемах и, несмотря на появление новых материалов, таких как пластик или металлопластик, по сей день не утратили популярности, а в некоторых случаях являются единственно возможным вариантом обустройства трубопроводов.

Трубы большого диаметра используются в следующих областях:

- строительство мостов – в качестве опор;
- создание дорог;
- разные сферы промышленности – в схемах, в которых предусмотрено перемещение большого объема рабочей среды;
- тяжёлое машиностроение;
- судостроение;
- создание крупных теплоцентралей;
- сооружение канализаций и водоотводов;
- обустройстве скважин для бурения.

Изделия со значениями диаметров **720...1020 мм** нашли применение при создании:

- нефтепроводов магистрального значения;
- особо протяжённых газопроводов;
- коммуникационных сетей с большой пропускной способностью;
- крупных объектов строительства.

Трубы самого большого диаметра – **1420...2020 мм** – используются только при прокладке защищённых от коррозии:

- систем переноса большого объема воды, в том числе стоков канализации, дренажей и колодцев;
- тоннелей различного назначения и пролегающих под трассами речных русел.

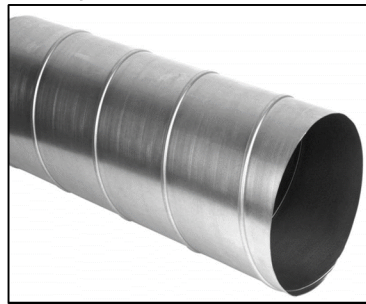
## Особенности труб большого диаметра

В настоящее время выпуск такой продукции налажен и не вызывает проблем. Недостаток больших изделий – сложность обустройства трубопроводов, связанная с:

- весом труб;
- необходимостью применения сварки и резки на больших участках;
- невозможностью ни в какой степени согнуть изделие и, соответственно, технологической сложностью создания поворотных участков системы.



а)



б)

Рисунок 7 - Разновидности труб большого диаметра:

- а) Прямошовные;
- б) Спиралешовные.

### Прямошовные трубы

При производстве сварных труб стальной лист или лента сворачиваются, а их края сваривают друг с другом.

Швы таких изделий прямые и располагаются по всей длине.

При диаметре трубы **530-820мм** труба имеет **один** шов.

На трубах большого диаметра (**820-1420мм**) делают **два** шва, так как в ширину стальные листы имеют ограничения.

### Спиралешовные трубы

Производятся из рулонной листовой стали электродуговой сваркой под флюсом двусторонними стыковыми швами.

#### Преимущества:

- высокая точность изготовления,
- возможность изготавливать трубы диаметром до 2,5м,
- при аварийной ситуации не образуется продольная магистральная трещина,
- в случае проведения гибки труб в полевых условиях, не нужно контролировать положение сварных швов;

**Недостаток** - увеличенная длина сварного шва (дополнительные расходы на сварочные материалы).

#### Преимущества сварных труб перед трубным прокатом

- Высокое качество сварных швов при применении современных технологий,
- Более дешевый процесс производства,
- Более тонкая стенка сварной трубы (меньший вес),
- Одинаковая толщина листовой стали в любом месте.

### ***Контрольные вопросы:***

- 1 В чем преимущества и недостатки шаровых сосудов по сравнению с цилиндрическими?
- 2 Какой величиной ограничен диаметр горизонтальных газгольдеров и почему?
- 3 Почему подземные газгольдеры менее взрывоопасны, чем надземные?
- 4 Почему вертикальное расположение цилиндрических газгольдеров применяется ограниченно?
- 5 Как определить диаметр цилиндрического резервуара, если известны его объем и высота?
- 6 Как производится сварка отдельных листов в поясе цилиндрического резервуара?
- 7 Запишите формулы для определения оптимальных значений толщины стенки и высоты цилиндрического резервуара
- 8 Какие схемы раскроя шарового резервуара являются наиболее распространенными и почему?
- 9 С какой целью резервуарам придают каплевидную форму?
- 10 В чем состоит различие между бункером и силосом?
- 11 Какая часть бункера является наиболее нагруженной?
- 12 Почему круглые бункеры являются более экономичными по весу, чем прямоугольные?
- 13 От чего зависит наименьший угол наклона стенки бункера к горизонту?
- 14 По какой формуле определяется нормальное давление сыпучего материала на наклонную стенку?
- 15 Почему на трубах большого диаметра (820-1420мм) делают два шва?
- 16 Почему пропановые баллоны - это единственный вид баллонов, корпус которых может быть выполнен сварным?
- 17 Какие трубы используются для строительства систем переноса большого объема воды?
- 18 Перечислите преимущества сварных труб перед трубным прокатом