

Газгольдеры.
Резервуары газа

Газгольдер – емкость для приема, хранения сжиженного углеводородного газа СУГ под избыточным давлением и его выдачи в распределительные газопроводы.

Газгольдеры находят свое применение в нефтегазовой, нефтедобывающей и газоперерабатывающей отраслях промышленности, при автономном газоснабжении производственных и жилых объектов.

Сжиженные углеводородные газы (СУГ) – смесь химических соединений, состоящая в основном из водорода и углерода с различной структурой молекул, т. е. смесь углеводородов различной молекулярной массы и различного строения.

СПБТ – смесь пропан-бутан техническая – сжиженный углеводородный газ (попутный газ при добычи нефти)

Упругость насыщенных паров

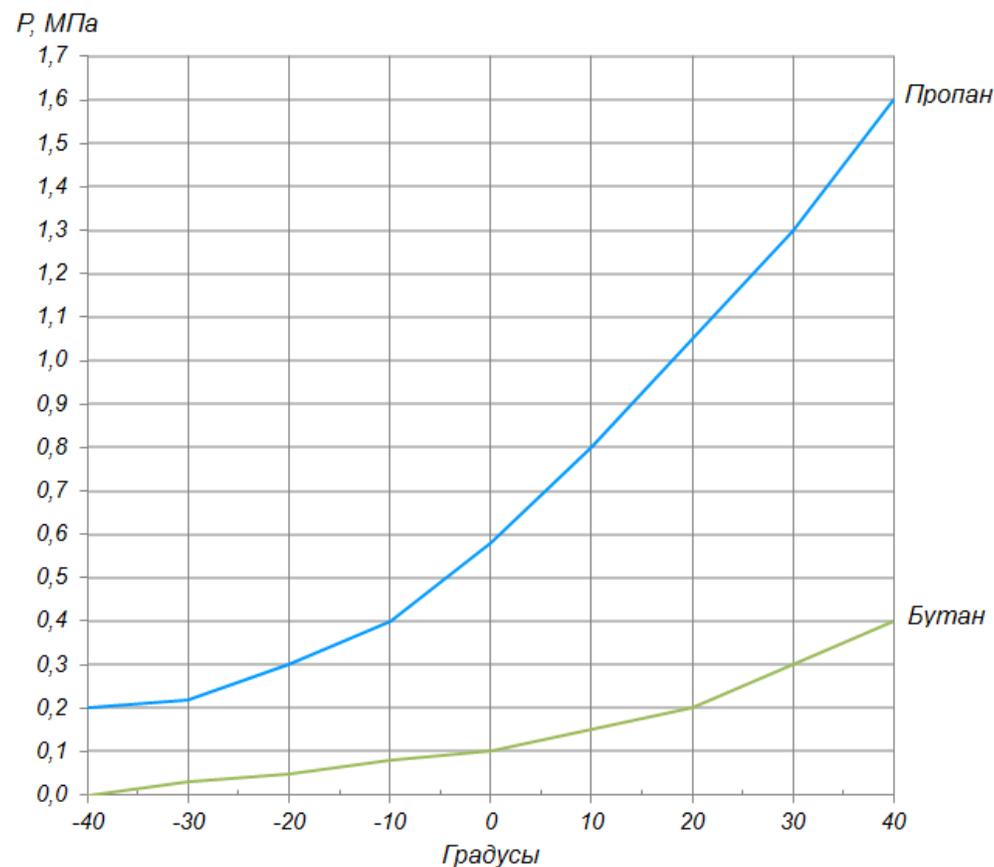
- ✓ Чаще всего практическое использование сжиженных углеводородных газов происходит в двухфазной системе «жидкость-пар» (если есть свободная поверхность жидкости в замкнутом пространстве резервуара).
- ✓ При этом в общем случае происходит или конденсация пара, или испарение жидкости.
- ✓ **В условиях равновесия** нет ни конденсации, ни испарения.
- ✓ Давление, при котором жидкость находится в равновесном состоянии с паром, **называется упругостью насыщенных паров**.
- ✓ Определенной температуре отвечает определенная упругость насыщенных паров, и наоборот, заданной упругости насыщенных паров отвечает определенная температура.
- ✓ **Давление насыщенного пара не зависит от его объёма**. Это следует из того, что плотность **насыщенного пара не зависит от объёма**, а **давление** однозначно связано с плотностью уравнением:

$$p_H = \frac{\rho_H}{\mu} RT.$$

Упругость насыщенных паров

- ✓ Если поддерживать постоянную температуру и сжимать пар, находящийся над жидкостью, то происходит его конденсация; наоборот, если увеличивать объем, занимаемый паром, то продолжается испарение жидкости.
- ✓ Графическая зависимость упругости паров и температуры называется кривой испарения. Зависимости между упругостью чистых паров и температурой для углеводородов, входящих в составы сжиженных углеводородных газов

Углеводородные газы хранят при избыточным (повышенным) давлении 3 МПа и температуре до 40 °С или при низких температурах с давлением до 0,07 МПа.



Функции и характеристики газовых резервуаров

Основными функциями:

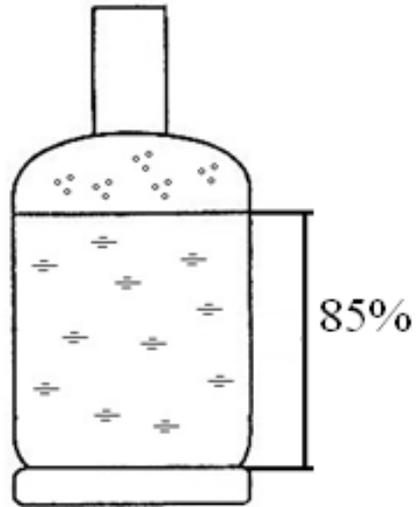
- ✓ хранение газа
- ✓ смешивание газов с различными характеристиками
- ✓ распределение и выдача газа

Основными характеристиками газовых резервуаров являются их **объем** и показатели **внутреннего предельного давления**.

По величине избыточного давления различают газгольдеры низкого (до 4-5 кПа) и высокого (до 3 МПа) давления.

Физико-химические свойства жидкой фазы СУГ

Физико-химические свойства жидкой фазы, определяющие требования безопасности к транспортировке и хранению СУГ:



Заполнение баллона СУГ

- ✓ **объемное расширение СУГ** – показатель характеризует относительное изменение объема жидкости при нагревании на 1 °С. Коэффициент объемного расширения **пропана** в 16,1 раз больше, чем у воды, **бутана** — в 11 раз больше. Сосуды с СУГ наполняют жидкой фазой не более чем на 85 %. **Максимальная температура нагрева баллона СУГ не должна превышать 45 °С.** Именно при такой температуре давление паров пропана составляет 1,6 МПа, что является максимальным рабочим давлением баллонов СУГ.
- ✓ **охлаждающее действие СУГ** – при попадании в атмосферу в результате утечки сжиженный углеводородный газ начинает интенсивно испаряться; при этом у объектов, с которыми СУГ соприкасается, отбирается тепло, что приводит к их резкому охлаждению. Отрицательная температура испаряющегося СУГ не зависит от температуры окружающей среды.
- ✓ **статическое электричество** – при трении слоев жидкой фазы между собой, при трении жидкости о металл стенок сосудов и труб накапливается статическое электричество (особенно интенсивно при перевозке СУГ в цистернах). Для выравнивания потенциалов и предотвращения пожаров заряд отводят с корпуса автомашины в землю. При перевозке крепится стальная цепь, конец которой волочится по дорожному покрытию.

Летние и зимние смеси СУГ

1 м³ газообразной смеси равны 4 л сжиженного газа, что означает уменьшение объема практически в 250 раз



Пример. При температуре +20°C переход в жидкую фазу у пропана происходит под давлением 8,5 кгс/см², у бутана под давлением 3,1 кгс/см². При этом пропан не будет переходить в газообразное состояние и останется жидкостью при температуре -43°C, а бутан при температуре 0°C.

Способность СУГ к испарению напрямую зависит **от процентного соотношения пропана и бутана**, а также от **температуры воздуха**. Например, при низких температурах окружающего воздуха давление у пропана выше, чем у бутана, а, следовательно, выше его испаряемость.

Исследованиями было доказано:

- ✓ при низкой температуре окружающей среды эффективнее использовать смесь с большим содержанием пропана
- ✓ в жаркое время года количество пропана нужно снижать (летом бутан испаряется гораздо менее интенсивно, что снижает риск возникновения повышенного давления и предотвращает срабатывание клапана сброса).

По типу исполнения резервуары для сжиженных углеводородных газов делятся на несколько групп:

- наземные
- двустенные
- подземные
- сферические
- изотермические

Температурный режим для хранения сжиженных углеводородных газов:

- При температуре окружающей среды и повышенном давлении.
- При отрицательной соответствующей температуре и давлении близком к атмосферному. Данное хранение называется низкотемпературным или изотермическим.

На газгольдеры различных типов устанавливается **дополнительное газовое оборудование:**

- ✓ предохранительные клапаны для сбрасывания газа при повышении давления выше допустимых значений
- ✓ манометры для измерения давления газа
- ✓ указатели и сигнализаторы уровня, термометры для определения температуры
- ✓ запорные клапаны
- ✓ технологические люки для проведения эксплуатационных работ и вентиляции
- ✓ оборудование для удаления отложений и тяжелых остатков

НТД

Все типы газгольдеров изготавливаются в соответствии с:

ПБ-03-576-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов работающих под давлением»

ПБ 03-584-03 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и аппаратов стальных сварных»

ПБ 09-566-03 «Правила безопасности для складов сжиженных углеводородных газов и легко воспламеняющихся жидкостей под давлением»

ГОСТ Р 52630-2006 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия»

Классификация газгольдеров

Конструктивно газгольдеры бывают:

- ✓ одностенные газгольдеры
- ✓ двустенные газгольдеры

В зависимости **от размещения** газгольдеры делятся на:

- ✓ наземные газгольдеры
- ✓ подземные газгольдеры

В зависимости от **ориентации в пространстве**:

- ✓ вертикальные газгольдеры
- ✓ горизонтальные газгольдеры

По способу **герметизации газового пространства**:

- ✓ мокрые газгольдеры
- ✓ сухие газгольдеры

Одностенные и двустенные газгольдеры

- ✓ Конструктивно двустенные резервуары представляют собой горизонтальные резервуары, расположенные один в другом.
- ✓ Пространство между стенками емкостей заполнено или азотом или этиленгликолем, т. е. инертными веществами, в связи с чем уменьшается взрывоопасность газгольдеров (улучшенная защита от утечек газа и взрывозащищенность)
- ✓ Недостаток двустенных газгольдеров для хранения СУГ - большой вес, а значит увеличенная стоимость емкости.



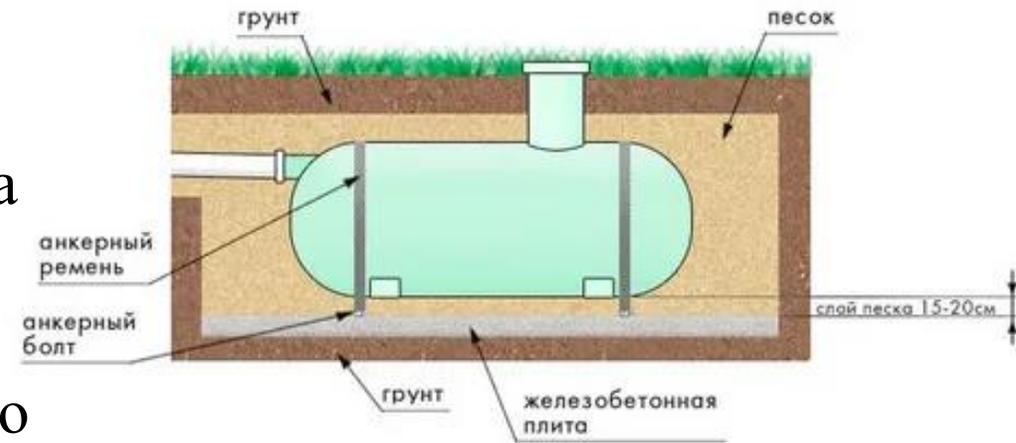
Источник: ufa.gazovik-gas.ru



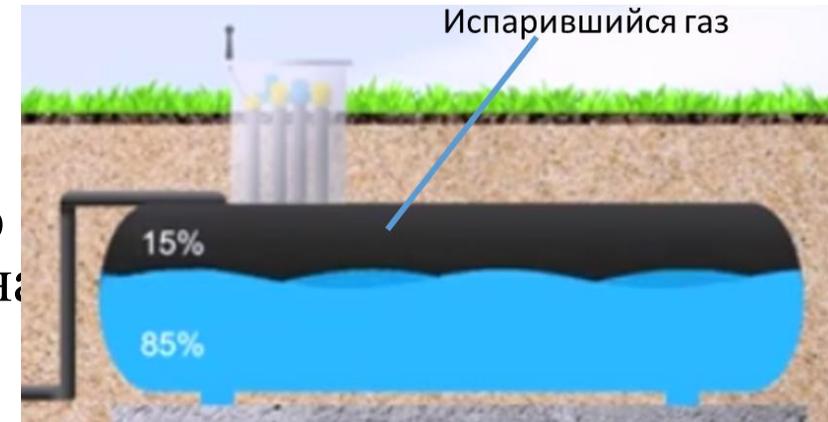
Источник: zavod-gs.ru

Наземные и подземные газгольдеры

✓ Подземные газгольдеры используются, в основном, для автономной газификации производственных и жилых помещений. Монтаж подземного газгольдера производится на глубине ниже уровня промерзания грунта и, соответственно, не требуется дополнительное оборудование для обогрева газового резервуара в холодных климатических условиях.



✓ Для защиты емкости от механического и химического воздействия стенки обрабатывают дополнительным антикоррозионным покрытием. Газгольдеры, установленные под землей, представляют собой резервуар с горловиной, к которой подсоединены манометры, клапаны и другое газовое оборудование.



✓ Подземные газгольдеры бывают горизонтальными и вертикальными.

✓ Наземные газгольдеры проще в установке и подведении необходимых технологических коммуникаций.

Вертикальные и горизонтальные подземные газгольдеры

✓ Вертикальные газгольдеры для хранения СУГ используются на больших предприятиях из-за экономии территории (возможна установка теплоизоляции).

✓ Горизонтальные газгольдеры отличаются большей площадью испарения, чем вертикальные, что влияет на увеличение производительности газового резервуара.



Производительность газгольдера — это тот объем газообразной фракции газа, который образовывается от испарения жидкой фазы сжиженного газа. Испарение жидкой фазы СУГ зависит от площади поверхности (зеркала) — чем площадь больше, тем больше испарение. Соответственно, площадь поверхности жидкой фазы газа больше у горизонтальных газгольдеров. Но производительность стабильнее у вертикальных, так как при заполнении горизонтального газгольдера площадь зеркала меняется, а у вертикального остается стабильной.

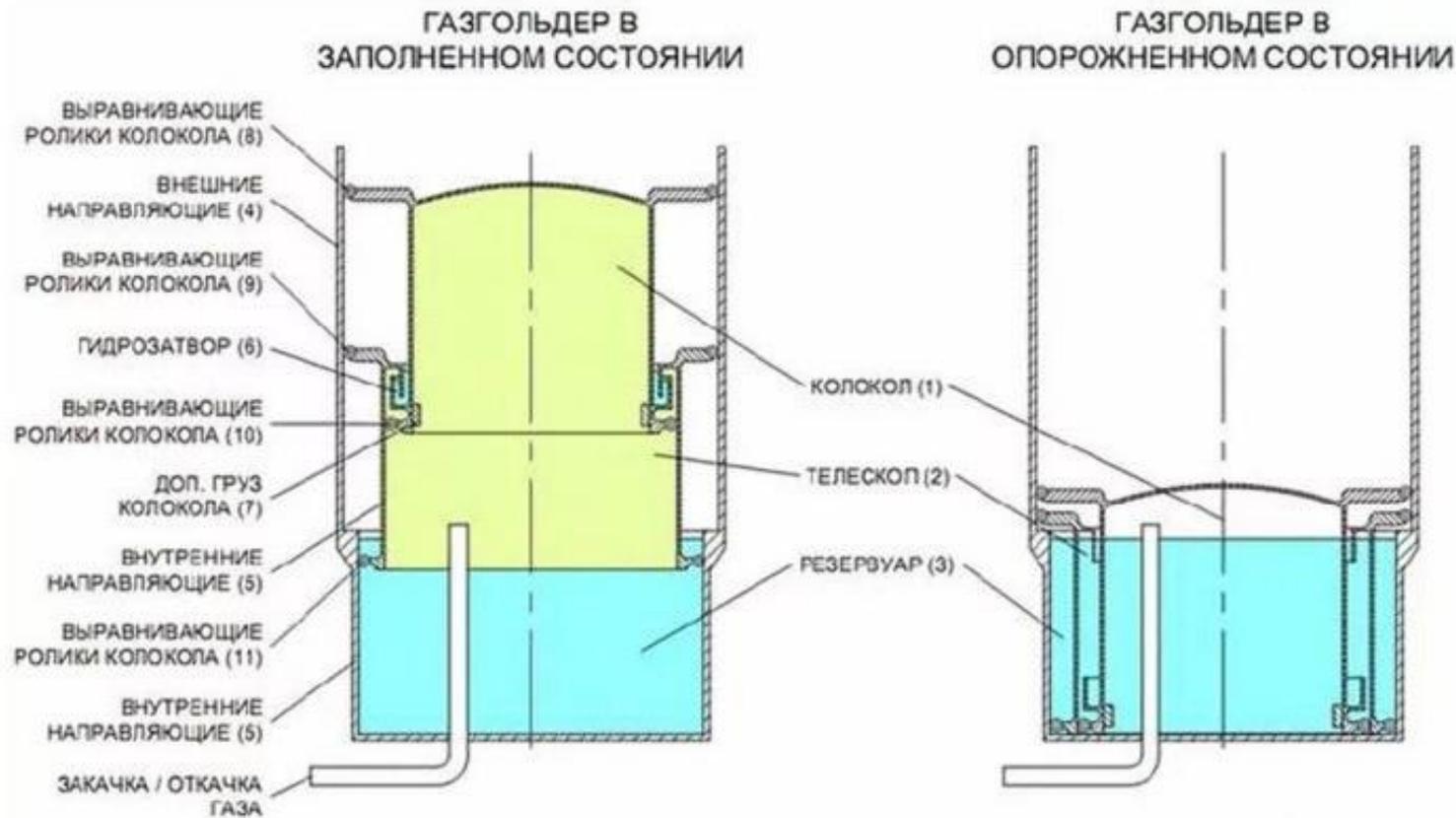
Газгольдеры с постоянным и переменным давлением. Газгольдеры с постоянным и переменным объемом

Газовые резервуары с постоянным давлением – емкости переменного объема: в них объем хранимого сжиженного газа изменяется, а давление остается неизменным.

Газгольдеры с постоянным давлением и переменным объемом, в свою очередь, делятся на **мокрые** и **сухие** газгольдеры.

Мокрые газгольдеры – это цилиндрические вертикальные резервуары, которые наполнены водой, и колокол в виде цилиндрического резервуара без днища. Над резервуаром монтируется сферическая крыша. Через дно первого резервуара под колокол подводится газопровод. Когда внутреннее пространство заполняется газом, колокол поднимается; когда количество газа уменьшается, колокол опускается.

В мокрых газгольдерах герметизация газового пространства осуществляется за счет гидравлического (водяного) затвора.



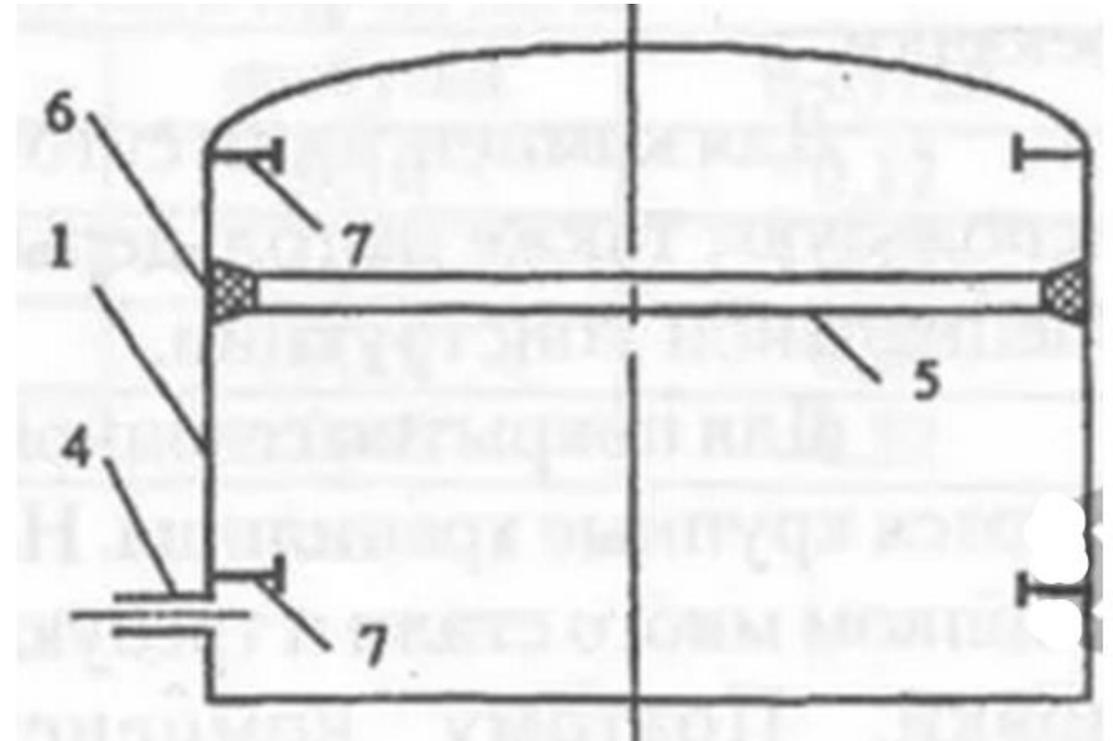
- 1) Подача газа под колокол и телескоп производится по трубопроводу через гидравлический затвор, расположенный в камере, и газовый стояк;
- 2) Забор газа из газгольдера осуществляется в обратном порядке. Гидравлический затвор служит также для отвода конденсата из газа и отключения газгольдера от газовых сетей на период ремонтов и остановок.
- 3) При заполнении газом пространства под колоколом последний всплывает, перемещаясь вертикально вверх по направляющим, входит в зацепление с телескопом, поднимает его и продолжает перемещаться под давлением поступающего газа. Когда давление газа под колоколом уравнивается его весом или одновременно весом колокола и телескопа, подъем колокола прекращается.

Сухие газгольдеры служат для хранения газов под давлением до 4 кПа (величина давления остается практически неизменной в процессе наполнения и опорожнения). Объем газгольдера до 110 000 м³. Герметизация газгольдеров осуществляется в основном с помощью эластичных сальников.

Достоинства газгольдеров: небольшая металлоемкость, значительные объемы хранимого газа (до 500 тыс. м³).

Недостаток газгольдеров: сравнительно малая надежность уплотнительного элемента.

1 – резервуар; 4 – газопровод; 5 – шайба;
6 – уплотнение; 7 – ограничитель хода



В газгольдерах поршневого типа газ под давлением подается под поршень, который, в свою очередь, поднимается до предельного положения, тем самым вытесняя газ в трубопровод.

Принцип работы газгольдера с гибкой секцией: внутри газового резервуара находится шайба, которая расположена на днище. Когда газ подается в газгольдер, шайба поднимается. Гибкая секция, или мембрана, служит для уплотнения между стенкой емкости и шайбой.

Газгольдеры с переменным давлением являются резервуарами с постоянным объемом: геометрический объем газа всегда стабилен, в то время как давление может изменяться в зависимости от технологических процессов. Давление газа изменяется при увеличении объема газа, который подается в газгольдер. Газгольдеры с постоянным объемом различаются только геометрической формой.

Сферические резервуары для хранения сжиженного газа

Сферические резервуары (шаровые резервуары) - наиболее удобная форма для хранения сжиженного газа при высоких давлениях (**0,25 МПа** до **2,0 МПа**) и больших объемов, так как в них можно хранить от **600 м³** до **2000 м³** газа.

Преимущество сферических резервуаров - это экономическая целесообразность: экономия на металле при изготовлении сферических резервуаров составляет 20%.

Традиционно диаметр сферического резервуара не превышает 18 м.

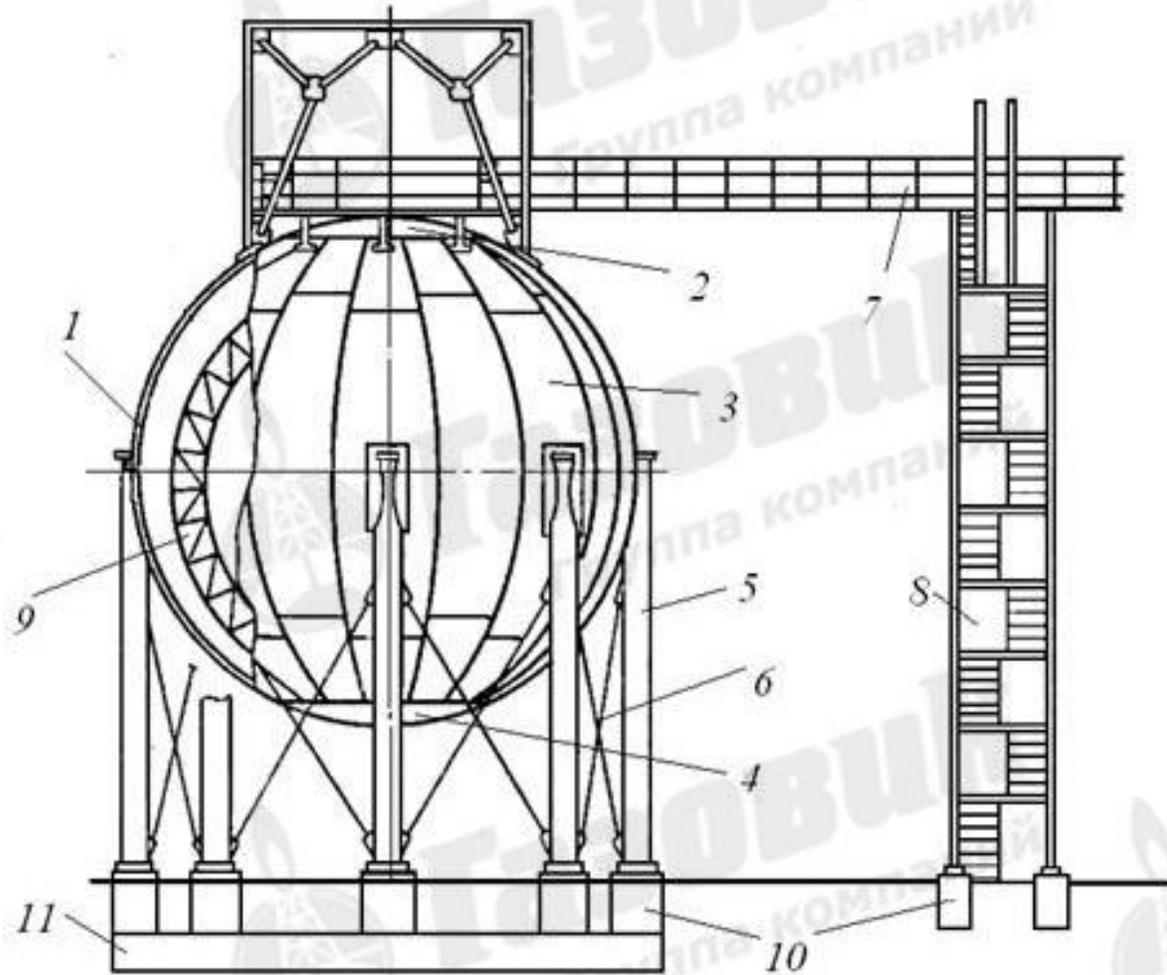


Проектирование и монтаж сферических резервуаров осуществляется в соответствии с требованиями следующих государственных стандартов:

- СП 43.13330.2012 "Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85"
- СП 20.13330.2011 "Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85"
- ВСН 467-85 "Монтаж стальных конструкций, резервуаров и газгольдеров"



Схема сферического резервуара



1 — сферическая оболочка резервуара; 2 — купол; 3 — лепестки оболочки; 4 — днище оболочки; 5 — стойки опоры; 6 — связи между опорами; 7 — площадка обслуживания (горизонтальная или наклонная); 8 — шахтная лестница; 9 — внутренняя смотровая лестница; 10 — столбчатые фундаменты шахтной лестницы; 11 — кольцевой железобетонный фундамент [https://gazovik-lpg.ru/spravochnik_oborudovanie_dlya_szhizhennyh_uglevodorodnyh_gazov/#content]

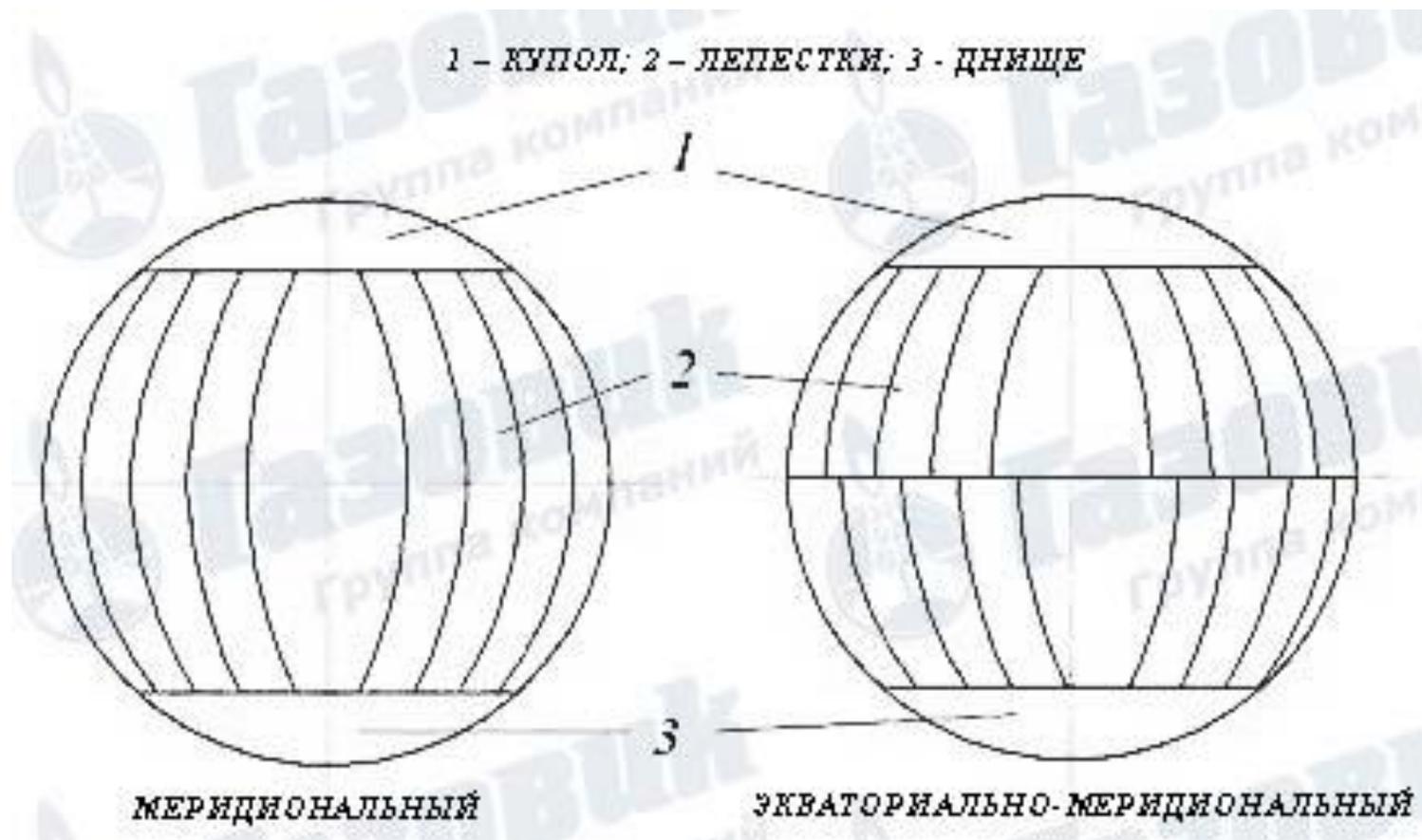


Сферические резервуары устанавливаются только **наземно**.

НТД, регламентирующая проектирование и изготовление сферических резервуаров для хранения СУГ

✓ СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий. Актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85»

✓ СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85»



[https://gazovik-lpg.ru/spravochnik_oborudovanie_dlya_szhizhen_nyh_uglevodorodnyh_gazov/#content]

- ✓ Для изготовления сферических резервуаров используется **легированная сталь** толщиной от **16 мм до 36 мм** (максимум **40 мм** по специальному заказу)
- ✓ При толщине стали до 22 мм лепестки изготавливаются на многовалковом стенде методом **холодного вальцевания**, то есть гибки металла нужной формы. При толщине стали более 22 мм используется метод **горячей штамповки**
- ✓ Монтаж резервуаров диаметром **до 18 м** начинается с **экваториального пояса**, а монтаж резервуаров с **большим** диаметром - **от нижней части**
- ✓ Сварка элементов-лепестков может осуществляться как **в ручном**, так и в **автоматическом режиме**
- ✓ Вне зависимости от способа сборки сферических резервуаров, первоначально монтируется центральная стойка-опора, далее происходит приварка элементов



[https://gazovik-lpg.ru/spravochnik_oborudovanie_dlya_szhizhennyh_uglevodorodnyh_gazov/#content]

Изотермический резервуар (ИР)

— технологическая емкость, предназначенная для хранения и транспортирования сжиженных газов при давлении, **близком к атмосферному, и при низкой постоянной отрицательной температуре.**

По объему (вместимости) хранимого продукта ИР подразделяются на три основных типа:

- **малотоннажные** — объем продукта до 5 000 м³
- **среднетоннажные** — объем продукта от 5 000 м³ до 60 000 м³;
- **крупнотоннажные** — от 60 000 м³ и выше.



Малотоннажный изотермический резервуар объемом 150 м³

Источник: <https://propb.ru/library/wiki/izotermicheskiy-rezervuar/?ysclid=lg2fg1e5ki294901748>

© Портал про пожарную безопасность propb.ru



Среднетоннажный изотермический резервуар объемом 20 000 м³

Источник:

<https://propb.ru/library/wiki/izotermicheskiy-rezervuar/?ysclid=lq2fg1e5ki294901748>

© Портал про пожарную безопасность propb.ru

- ✓ Данный тип резервуаров отличается способностью **хранения газа при атмосферном давлении (близкому к нему) и низкой температуре**, что приводит к понижению упругости паров и, следовательно, к возможности уменьшения толщины стенок, а значит, снижению металлоемкости изделия в 8-15 раз.
- ✓ К тому же, условия хранения позволяют недозаполнять резервуар всего лишь на 5% (а не на 15% как в случае с горизонтальными). В результате естественного испарения газа полученная паровая фаза может сбрасываться на свечу или поставляться в системы газоснабжения.

Параметры	РКВ 2/1,6	РКВ 3/1,6	РКВ 5/1,6	РКВ 8/1,6	РКВ 10/1,6	РКВ 20/1,6	РКВ 30/1,6	РКВ 40/1,6	РКВ 50/1,6
Полный объем, мЗ	2	3	5	8	10	22,3	32,09	44,5	53,5
Коэффициент заполнения	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,9
Рабочее давление, МПа	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Масса заливаемого СПГ, кг	768	1140	190	3040	3800	7560	11340	15120	18900

- ✓ Изотермические резервуары могут устанавливаться как **наземно**, так и **заглубляться** в грунт **внутри железобетонного котлована**. Их объем достигает до 50 000 м³. Изготавливаются в форме вертикальных цилиндрических емкостей с купольной крышей и теплоизоляцией, которые монтируются на железобетонные опоры (наземные) или основание (подземные).



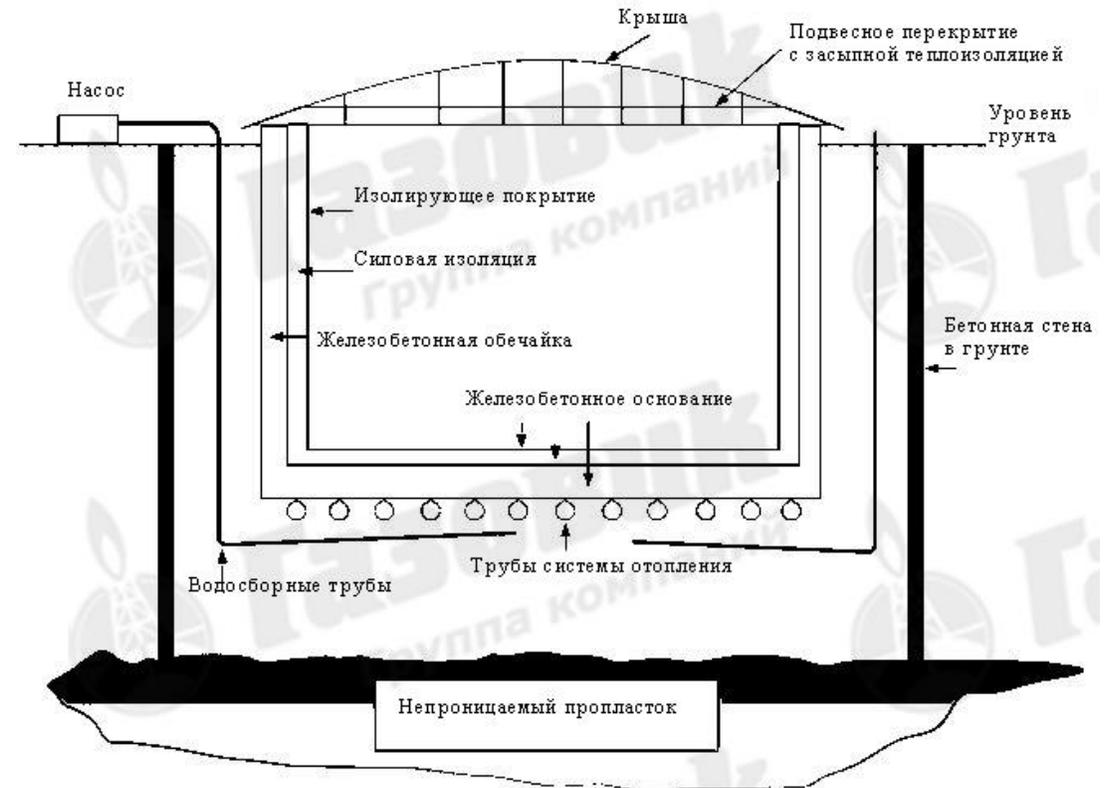
Криогенные резервуары

- **емкости**, применяемые в нефтегазовой и теплоэнергетической промышленности для приема, хранения и выдачи криогенных жидкостей, таких как сжиженного азота, водорода, кислорода, гелия, аргона, углекислоты, СПГ и др.



Для эксплуатации криогенных емкостей в их состав входит **комплекс оборудования**:

- ✓ двустенный резервуар
- ✓ запорно-предохранительная арматура
- ✓ теплообменный аппарат или испаритель
- ✓ контрольно-измерительные приборы
- ✓ трубопроводная обвязка



Состав оборудования криогенных емкостей должен обеспечивать **хранение** криогенных продуктов **в жидком состоянии** и **поддержание** необходимого температурного режима за счет **теплоизоляции**.