

Безопасность эксплуатации систем,  
находящихся под давлением

**Опасности систем под давлением**

# Причины разрушения

- механические воздействия,
- старение систем (снижение механической прочности);
- нарушение технологического режима; конструкторские ошибки;
- изменение состояния герметизируемой среды;
- неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах.

# Мероприятия по взрывозащите

- *Разработка инструктивных материалов, регламентов, норм и правил ведения технологических процессов;*
- *организация обучения и инструктажа обслуживающего персонала;*
- *осуществление контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, пожарной безопасности.*

# Опознавательная окраска трубопровода (ГОСТ 14202–69)

- Окраска труб: вода –зеленый, пар – красный, воздух – синий, щелочи – фиолетовый, горючие и негорючие газы – желтый.
- *На трубопроводы наносят предупреждающие (сигнальные) цветные кольца, количество которых определяет степень опасности. Так, на трубопроводы взрывоопасных, огнеопасных, легковоспламеняющихся веществ наносят красные кольца, безопасных или нейтральных веществ –зеленые, токсичных веществ – желтые. Для обозначения глубокого вакуума, высокого давления, наличия радиации используют также желтый цвет.*

# Сведения о баллоне

- У горловины каждого баллона на сферической части выбивают следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя, дату (месяц и год) изготовления (последнего испытания) и год следующего испытания; вид термообработки (нормализация, закалка с отпуском); рабочее и пробное гидравлическое давление (МПа); вместимость баллона, л; массу баллона, кг; клеймо ОТК; обозначение действующего стандарта.
- Наружная поверхность баллонов окрашивается в определенный цвет, на нее наносится соответствующая надпись и сигнальная полоса.

Газ	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черная	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтая	Аммиак	Черная	Тоже
Аргон, чистый	Серая	Аргон, чистый	Зеленый	Зеленый
Ацетилен	Белая	Ацетилен	Красный	Красный
Водород	Темно-зеленая	Водород	Красный	Красный
Воздух	Черная	Сжатый воздух	Белый	Белый
Гелий	Коричневая	Гелий	Белый	Белый
Кислород	Голубая	Кислород	Черный	Черный
Диоксид углерода	Черная	Диоксид углерода	Желтый	Желтый

Для горючих и негорючих газов, не обозначенных в ПБ10–115–96 (Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением), предусмотрена следующая гамма цветов:

Газы	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
------	------------------	---------	--------------	-------------

Все другие горючие газы	Красная	Наименование газа	Белый	Белый
-------------------------	---------	-------------------	-------	-------

Все другие негорючие газы	Черная	Наименование газа	Желтый	Желтый
---------------------------	--------	-------------------	--------	--------

Сигнальная окраска баллонов и цистерн позволяет исключить образование смеси «горючее – окислитель» вследствие заполнения емкостей рабочим телом, для которого они не предназначены. Для предотвращения проникновения в опорожненный баллон посторонних газов, а также для определения (в необходимых случаях), какой газ находится в баллоне, или герметичности баллона и его арматуры заводы-наполнители принимают опорожненные баллоны с остаточным давлением не менее 0,05 МПа, а баллоны для растворенного ацетилена – не менее 0,05 и не более 0,1 МПа.

## Распространение правил ПБ10-115-96

- *сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учета гидростатического давления;*
  - *сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;*
  - *баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;*
  - *цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;*
  - *цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически для их опорожнения*
-



## Сосуды, на которые не распространяются правила ПБ10-115-96

- *сосуды, изготавливаемые в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок», утвержденными Госатомэнергонадзором России, а также сосуды, работающие с радиоактивной средой;*
- *сосуды вместимостью не более 0,025 м3 независимо от давления, используемые для научно-экспериментальных целей;*
- *сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м3, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м3 не превышает 0,02;*
- *сосуды, работающие под вакуумом;*
- *сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами; выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм, а также ряд других типов сосудов (сосуды, устанавливаемые на морских и речных судах, самолетах и других летательных аппаратах; воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения; сосуды специального назначения военного ведомства и т. д.)*


# Техническое освидетельствование сосудов

- *Сосуды, на которые распространяется действие «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», до пуска их в эксплуатацию должны быть зарегистрированы в органах Госгортехнадзора России.*
- Объемы, методы и периодичность технического освидетельствования оговариваются изготовителем и указываются в инструкциях по монтажу и эксплуатации.
- В случае отсутствия таких указаний техническое освидетельствование проводится по указанию «Правил» ПБ10– 115–96.
- Сроки и объемы освидетельствований сосудов и баллонов, зарегистрированных и не зарегистрированных в органах Госгортехнадзора России, устанавливаются в зависимости от условий эксплуатации (скорость физико-химических превращений) и типа сосуда.
- При гидравлических испытаниях испытываемую емкость заполняют водой, после чего давление воды плавно повышают до значений пробного давления.

## Давление при гидравлических испытаниях

Тип сосуда	Пробное давление, МПа	Примечание
Кроме литых	$P_{пр} = 1,25 K \cdot P_p$	Ударная вязкость материала более 20 Дж /см <sup>2</sup>
Литые	$P_{пр} = 1,50 K P_p$	
Из не металлических материалов	$P_{пр} = 1,30 K P_p$	Ударная вязкость материала менее 20 Дж /см <sup>2</sup>
Из не металлических материалов	$P_{пр} = 1,60 K P_p$	Наличие вакуума в изоляционном пространстве
Криогенные сосуды	$P_{пр} = 1,25 P_p - 0,1$ МПа	
Металлопластиковые	$P_{пр} = (1,25 K_M + \alpha(1 - K_M)) P_p K$	

$K = \delta_{20} / \delta_t$  – допустимое напряжение для материала сосуда или его элемента соответственно при 20 °С и расчетной температуре, МПа,  $K_m$  – отношение массы металлоконструкции к общей массе сосуда;  $\alpha = 1,3$  – для неметаллических материалов с ударной вязкостью более 20 Дж/см<sup>2</sup>.  $\alpha = 1,6$  – для неметаллических материалов с ударной вязкостью 20 Дж/см<sup>2</sup> и менее. Применяемая вода должна иметь температуру не ниже 5 и не выше 40 °С, если иное не оговорено в паспорте на сосуд. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок сосуда. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления не допускается. Давление в испытываемом сосуде контролируется двумя манометрами одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности, цены деления. Время выдержки пробного давления устанавливается разработчиком и обычно определяется толщиной стенки сосуда. Так, при толщине стенки до 50 мм оно составляет 10 мин, при 50–100 мм – 20 мин, свыше 100 мм – 30 мин. Для литых неметаллических и многослойных сосудов независимо от толщины стенки время выдержки составляет 60 мин.




После выдержки под пробным давлением давление снижается до расчетного, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда, всех его разъемных и сварных соединений. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле;
- течи в разъемных соединениях;
- видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Гидравлическое испытание допускается заменять пневматическим при условии контроля этого испытания методом акустической эмиссии или другим, согласованным с Госгортехнадзором России.


*Техническое освидетельствование установок, работающих под давлением, зарегистрированных в органах Госгортехнадзора, производит технический инспектор, а установки, не зарегистрированные в этих органах, –лицо, на которое приказом по предприятию возложен надзор за безопасностью эксплуатации установок, работающих под давлением.*





## Оснастка сосудов под давлением

Сосуды в зависимости от назначения должны быть оснащены:

- запорной или запорно-регулирующей арматурой;
  - приборами для измерения давления;
  - приборами для измерения температуры;
  - предохранительными устройствами;
  - указателями уровня жидкости.
  - Арматура должна иметь следующую маркировку:
  - наименование или товарный знак изготовителя;
  - условный проход;
  - условное давление, МПа (допускается указывать рабочее давление и допустимую температуру);
  - направление потока среды;
  - марку материала корпуса.
- 

На маховике запорной арматуры должно быть указано направление его вращения при открывании или закрывании арматуры. Арматура с условным проходом более 20 мм, изготовленная из легированной стали или цветных металлов, должна иметь паспорт установленной формы, в котором должны быть указаны данные по химсоставу, механическим свойствам, режимам термообработки и результатам контроля качества изготовления неразрушающими методами. Каждый сосуд и самостоятельные полости с разными давлениями должны быть снабжены манометрами прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5–при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа, 1,5–при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа. Манометр должен выбираться с такой шкалой, чтобы предел измерения рабочего давления находился во второй трети шкалы. На шкале манометра владельцем сосуда должна быть нанесена красная черта, указывающая рабочее давление в сосуде. Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу. Номинальный диаметр корпуса манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за ним, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 3 м – не менее 160 мм. Установка манометров на высоте более 3 м от уровня площадки не разрешается. Между манометром и сосудом должен быть установлен трехходовый кран или заменяющее устройство, позволяющее проводить периодическую проверку манометра с помощью контрольного. Проверка манометров с их опломбированием и клеймением должна производиться не реже одного раза в 12 месяцев. Кроме того, не реже одного раза в 6 месяцев владельцем сосуда должна производиться дополнительная проверка рабочих манометров контрольными с записью результатов в журнал контрольных проверок.

# Предохранительные устройства

---

Применяются:

- пружинные предохранительные клапаны;
  - рычажно-грузовые предохранительные клапаны;
  - импульсные предохранительные устройства, состоящие из главного предохранительного клапана и управляющего импульсного клапана прямого действия;
  - предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (предохранительные мембраны);
  - другие устройства, применение которых согласовано с Госгортехнадзором России.
-



Широко используются разрывные мембраны, изготавливаемые из тонколистового металлического проката. При нагружении рабочим давлением мембрана испытывает большие пластические деформации и приобретает ярко выраженный купол, по форме очень близкий к сферическому сегменту. Чаще всего куполообразную форму мембране придают заранее при изготовлении, подвергая ее нагружению давлением, составляющим около 90 % разрывного. При этом фактически исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому еще больше увеличивается быстродействие мембраны. Разрывное давление  $P_c$ , такой оболочки (давление срабатывания мембраны)

$$P_c = 2\Delta_0\sigma_{BR}R$$

где  $\Delta_0$ —толщина материала мембраны;

$\sigma_{BR}$ —временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности);  $R$  – радиус купола. Минимальный (на пределе разрыва мембраны) радиус купола, где  $\delta$  – относительное удлинение при разрыве.  $R = \frac{D}{4} \frac{\sqrt{1+\delta}}{\sqrt{1+\delta}-1}$ .

Для определения времени полного раскрытия сбросного отверстия мембран можно использовать соотношение  $\tau_0 = 0.75a$  - для разрывных мембран со сплошным куполом

$\tau_0 = 0.5a$ —для разрывных мембран с прорезьями,  $\tau_0 = 1,65a$ — для хлопающих мембран,

где  $a = [(\pi D \rho \Delta_0) / P_c]^{1/2}$ ;  $D$  и  $\Delta_0$ —соответственно рабочий диаметр мембраны и толщина металлопроката, из которого изготовлена мембрана;  $\rho$  – плотность материала мембраны,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Наиболее распространенным средством защиты технологического оборудования от взрыва являются предохранительные клапаны. Однако и они имеют ряд существенных недостатков, в основном определяющихся большой инерционностью подвижных деталей клапанов. Расчет и подбор предохранительного клапана заключается в определении количества газа (жидкости), вышедшего из сосуда, аппарата, или площади проходного сечения предохранительно устройства, а также расчете времени истечения при заданном конечном давлении. Для подбора предохранительного клапана или мембраны необходимо по заданному массовому расходу, который определяется как максимальный аварийный расход среды, определить площадь проходного сечения клапана.

# Маркировка мембран

Содержание маркировки:

- наименование или товарный знак изготовителя;
- номер партии мембран;
- тип мембран;
- условный диаметр;
- рабочий диаметр;
- материал;
- минимальное и максимальное давление срабатывания мембран в партии при заданной температуре и при температуре 20 °С.

Безопасность эксплуатации систем,  
находящихся под давлением

Опасности газовых сетей

# Природный газ

**Природный газ** широко применяется в качестве горючего в промышленности, жилых частных и многоквартирных домах для отопления, подогрева воды и приготовления пищи, для получения различных органических веществ, например пластмасс. В экологическом отношении природный газ является самым чистым видом минерального топлива. Основным видом транспорта является трубопроводный. Газ под давлением 75 атмосфер прокачивается по трубам диаметром до 1,4 метра. Кроме трубопроводного транспорта широко используют специальные танкеры — газозовы. Это специальные суда, на которых газ перевозится в сжиженном состоянии в специализированных изотермических емкостях при температуре -150 -160 градусов Цельсия. При этом степень сжатия достигает 600 раз в зависимости от потребностей.

Основную часть природного газа составляет метан ( $\text{CH}_4$ ) — до 98 %. В состав природного газа могут также входить более тяжёлые углеводороды — гомологи метана:

- этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ),
- пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ),
- бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ),

а также другие неуглеводородные вещества:

- водород ( $\text{H}_2$ ),
- сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ),
- диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ),
- азот ( $\text{N}_2$ ),
- гелий (He).

Чистый природный газ не имеет цвета и запаха. Чтобы можно было определить утечку по запаху, в газ добавляют небольшое количество веществ, имеющих сильный неприятный запах (т. н. одорантов). Чаще всего в качестве **одоранта** применяется **этилмеркаптан**.

Ориентировочные **физические характеристики** (зависят от состава; при нормальных условиях, если не указано другое):

- Плотность:
  - от 0,7 до 1,0 кг/м<sup>3</sup> (сухой газообразный);
  - 400 кг/м<sup>3</sup> (жидкий).
- Температура самовозгорания: 650 °С;
- Взрывоопасные концентрации смеси газа с воздухом от 4 % до 16 % объёмных;
- Удельная теплота сгорания: 28—46 МДж/м<sup>3</sup> (6,7—11,0 Мкал/м<sup>3</sup>);
- Октановое число при использовании в двигателях внутреннего сгорания: 120—130.
- Легче воздуха в 1,8 раз, поэтому при утечке не собирается в низинах, а поднимается вверх .

# Автономные газовые системы отопления



Типы отопления:

- воздушное отопление;
- инфракрасное отопление;
- поквартирное отопление.

Преимущества:

- экономия средств на топливе
- экономия места в доме и на участке.
- комфорт: современные газовые котлы снабжены пультом управления, который дает возможность задавать и контролировать желаемую температуру воздуха или воды.
- безопасность: т.к. природный газ не требуется хранить, то снижается пожарная опасность, как в доме, так и на участке, нет риска отравления, т.к. при сгорании природного газа не образуется угарный газ.




## Причины взрывов в домах

- резкое увеличение давления газа в сети,
- ошибки ремонтников при эксплуатации газовых баллонов,
- герметизация квартир с газовыми плитами пластиковыми окнами,
- ремонт газовой трубы,
- образование газозвдушной смеси из-за утечки газа,
- использование самодельных спиртосодержащих аппаратов,
- нарушение техники безопасности при обращении с газовым оборудованием, замена газового оборудования жильцами, а не специалистами-газовиками, а также обогрев жилых помещений газовым оборудованием без должного присмотра.



# Справка

- По данным МЧС, с начала 2010 года в нашей стране произошло семь взрывов бытового газа в жилых домах, в результате которых погибли 19 человек. Самым крупным по человеческим жертвам стало ЧП в Казани, в результате которого скончались восемь человек.
- 



# Сжиженный природный газ

- природный газ природный газ, искусственно сжиженный, путем охлаждения до  $-160^{\circ}\text{C}$ , для облегчения хранения и транспортировки. Для хозяйственного применения преобразуется в газообразное состояние на специальных регазификационных терминалах
- СПГ представляет собой бесцветную жидкость без цвета и запаха, плотность которой в два раза меньше плотности воды.] СПГ представляет собой бесцветную жидкость без цвета и запаха, плотность которой в два раза меньше плотности воды.] На 75—99% состоит из метана. Температура кипения  $-158\dots-163^{\circ}\text{C}$ . В жидком состоянии не горюч, не токсичен, не агрессивен. Для использования подвергается испарению до исходного состояния. При сгорании паров образуется диоксид углерода и водяной пар.
- СПГ хранится в специальных криоцистернах, устроенных по принципу сосуда Дюара. Транспортируется СПГ на

## ОДОРИЗАЦИЯ ГАЗА

- Природный газ (метан) и сжиженные газы (пропан-бутаны) изначально не имеют запаха, поэтому любая их утечка из закрытой системы может быть обнаружена только специальными датчиками,
- газы, широко применяемые на промышленных объектах и в быту, в случае утечки могут вызывать сильные отравления и, кроме того, при определенных концентрациях создают взрывоопасную среду,
- Одоризация природного газа производится на газораспределительных станциях (перед подачей газа потребителям) или на централизованных одоризационных пунктах.

## Свойства одорантов

- иметь резко выраженный, специфический запах (для четкого распознавания);
  - ~~проявлять физическую и химическую устойчивость в~~ парообразном состоянии при смешении с природным газом и движении по трубопроводу (для обеспечения стабильной дозировки);
  - быть сильно концентрированными (для уменьшения общего расхода вещества);
  - обладать минимальной токсичностью в рабочих концентрациях и не образовывать токсичных продуктов при сгорании (для безопасной эксплуатации);
  - не оказывать корродирующего воздействия на материалы газопроводов, емкостей для хранения и транспортирования, запорно-регулирующей арматуры (для обеспечения длительного срока службы газопроводов и газового оборудования).
-



## Свойства одорантов

- иметь резко выраженный, специфический запах (для четкого распознавания);
  - проявлять физическую и химическую устойчивость в парообразном состоянии при смешении с природным газом и движении по трубопроводу (для обеспечения стабильной дозировки);
  - быть сильно концентрированными (для уменьшения общего расхода вещества);
  - обладать минимальной токсичностью в рабочих концентрациях и не образовывать токсичных продуктов при сгорании (для безопасной эксплуатации);
  - не оказывать корродирующего воздействия на материалы газопроводов, емкостей для хранения и транспортирования, запорно-регулирующей арматуры (для обеспечения длительного срока службы газопроводов и газового оборудования).
-

## Содержание одоранта в газе

- процесс одоризации должен обеспечивать такое ~~содержание одоранта в газе, чтобы человек с~~ нормальным обонянием мог обнаружить запах при объемной доле газа в воздухе, равной 1%,
  - количественное содержание одоранта в подаваемом потребителю газе нормируется в зависимости от химического состава используемой одоризационной смеси,
  - в соответствии с «Положением по технической эксплуатации газораспределительных станций магистральных газопроводов ВРД 39-1.10-069-2002», для этилмеркаптана норма ввода составляет 16г (19,1см<sup>3</sup>) на 1 000м<sup>3</sup> газа, приведенного к нормальным условиям.
-

# Состав одоранта

---

- Одорант СПМ является многокомпонентным веществом. Согласно ТУ 51-31323949-94-2002, в его составе могут содержаться следующие массовые доли отдельных меркаптанов:
  - этилмеркаптан — до 44,0%;
  - изо-пропилмеркаптан — до 31,0%;
  - бутилмеркаптан — до 11,0%;
  - н-пропилмеркаптан — до 6,0%;
  - трет-бутилмеркаптан — до 5,0%;
  - н-бутилмеркаптан — до 1,5%;
  - тетрогидротиофен — до 1,5%.
-

## Норма ввода

---

- Норма ввода многокомпонентного одоранта СПМ в России такая же, как и для этилмеркаптана — 16г (19,1см<sup>3</sup>) на 1 000м<sup>3</sup> газа, приведенного к нормальным условиям.
  - В зарубежных странах в качестве одорантов широко используются меркаптаны, получаемые в результате химического синтеза на основе серы, сероводорода, сульфидов и других сернистых соединений.
  - Хранятся и транспортируются синтезированные одоранты в специально предназначенных для этих целей сосудах из коррозионностойких материалов.
-

# Gasodor™ S-Free™

---

- В западных странах начато производство и использование, в качестве одорантов, бессернистых соединений.
- Gasodor™ S-Free™ имеет следующие достоинства:
- является экологически чистым продуктом (при использовании исключаются выбросы в атмосферу серы и ее соединений);
- соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических норм;
- имеет резкий сигнализирующий запах;
- обеспечивает требуемую интенсивность запаха при более низких, по сравнению с одорантами на основе сернистых соединений, концентрациях;
- обладает высокой стабильностью (в том числе и при хранении);
- не изменяет технико-химических и одорирующих свойств, при резких температурных колебаниях;
- практически нерастворим в воде и жидких углеводородах.



# Сжиженный газ пропан-бутан (СУГ)

---

- Это универсальный синтетический газ, получаемый из попутного нефтяного газа или при переработке нефти, т. е. фактически для большинства производителей это побочный продукт.
  - В России перерабатывается в сырье для нефтехимии и в сжиженный пропан-бутан не более 40% попутного газа, еще 40% без всякой переработки сжигается на ГРЭС, а оставшиеся 20% сжигаются на месторождениях в открытых факелах.
  - Официально подобным образом нефтяными компаниями уничтожается 4 млрд.м<sup>3</sup> в год попутного газа, а не официально - до 10 млрд. м<sup>3</sup> в год.
-

# БУТАН (СЖИЖЕННЫЙ ГАЗ) - физические свойства

---

- Температура кипения:  $-1^{\circ}\text{C}$
  - Температура плавления:  $-138^{\circ}\text{C}$
  - Относительная плотность (вода = 1): 0.6
  - Растворимость в воде, мл/100 мл при  $20^{\circ}\text{C}$ : 3.25
  - Давление паров, кПа при  $21.1^{\circ}\text{C}$ : 213.7
  - Относительная плотность пара (воздух = 1): 2.1
  - Температура самовоспламенения:  $287^{\circ}\text{C}$
  - Пределы взрываемости, объем% в воздухе: 1.8-8.4
-