

# Общие сведения о давлении, сосудах и процессах

Автор – доцент кафедры ПБС  
Уральского института ГПС МЧС России  
Д.Г. Мирошин



# Общие сведения о сосудах под давлением

- **Нормативные документы:**
- **ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН № 116-ФЗ** «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» Принят Государственной Думой 0 июня 1997 года (с изменениями на 29 июля 2018 года)
- **ПРИКАЗ Ростехнадзора от 25 марта 2014 года N 116** «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением»
- **ПРИКАЗ Ростехнадзора от 12 декабря 2017 года N 539** «О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением", утверждённые приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. N 116»
- **Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ** «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- **Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»** ТР ТС 032/2013, принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 2 июля 2013 года N 41 (далее - ТР ТС 032/2013)

# Основной документ

■ Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением" направлены на обеспечение промышленной безопасности, предупреждение аварий, инцидентов, производственного травматизма на объектах при использовании оборудования, работающего под **избыточным давлением более 0,07 мегапаскаля (МПа):**

■ Действие документа распространяется:

- а) паровые котлы, в том числе котлы-бойлеры
- б) водогрейные и пароводогрейные котлы
  - в) энерготехнологические котлы
  - г) котлы-утилизаторы
- д) котлы передвижных и транспортабельных установок;
- е) котлы паровые и жидкостные, работающих с органическими и неорганическими теплоносителями (кроме воды и водяного пара), и их трубопроводы
- ж) электрокотлы
- з) трубопроводы пара и горячей воды
  - и) сосуды, работающие под избыточным давлением пара, газов, жидкостей
- к) баллоны, цистерны, бочки под избыточным давлением газов
- л) барокамеры.

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ  
И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## Правила

ПРОМЫШЛЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ, НА КОТОРЫХ  
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ОБОРУДОВАНИЕ,  
РАБОТАЮЩЕЕ  
ПОД ИЗБЫТОЧНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА РОССИИ



# Сосуд

Герметически закрытая емкость, предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортирования газообразных, жидких и других веществ. Границей сосуда является входные и выходные штуцера



# Общая классификация сосудов



## По геометрической форме:

цилиндрический, конический, шаровой, торообразный, комбинированный сосуд (сочетание сосудов).



## По рабочему расположению продольной оси:

горизонтальный, вертикальный, наклонный.



## По рабочему давлению сосуда:

низкого давления (до 6 кгс/см<sup>2</sup>), умеренного давления (до 25 кгс/см<sup>2</sup>), среднего давления (до 50 кгс/см<sup>2</sup>), повышенного давления (до 100 кгс/см<sup>2</sup>), высокого давления (до 1000 кгс/см<sup>2</sup>), сверх высокого давления (свыше 1000 кгс/см<sup>2</sup>).



## По материалу изготовления:

металлические, неметаллические.



## По назначению хранимого продукта:

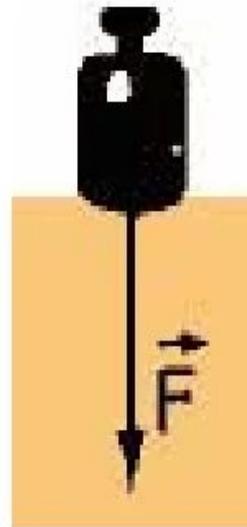
сырьевые, товарные, промежуточные.

# ДАВЛЕНИЕ

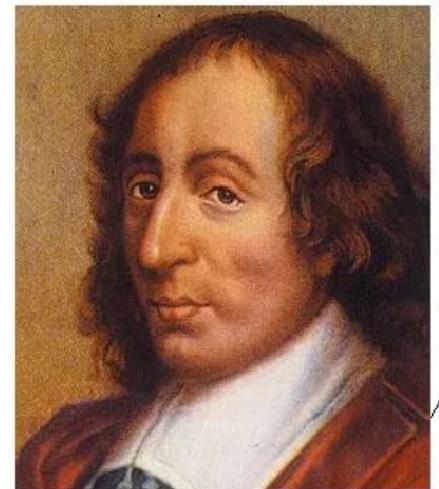
- Давление - физическая величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно этой поверхности.

$$P = F / S$$

- Давление характеризует состояние сплошной среды и является диагональной компонентой тензора напряжений, который в простейшем случае изотропной равновесной неподвижной среды, не зависит от ориентации.
- Для обозначения давления обычно используется символ  $P$  (от лат. *pressūra* «давление»).

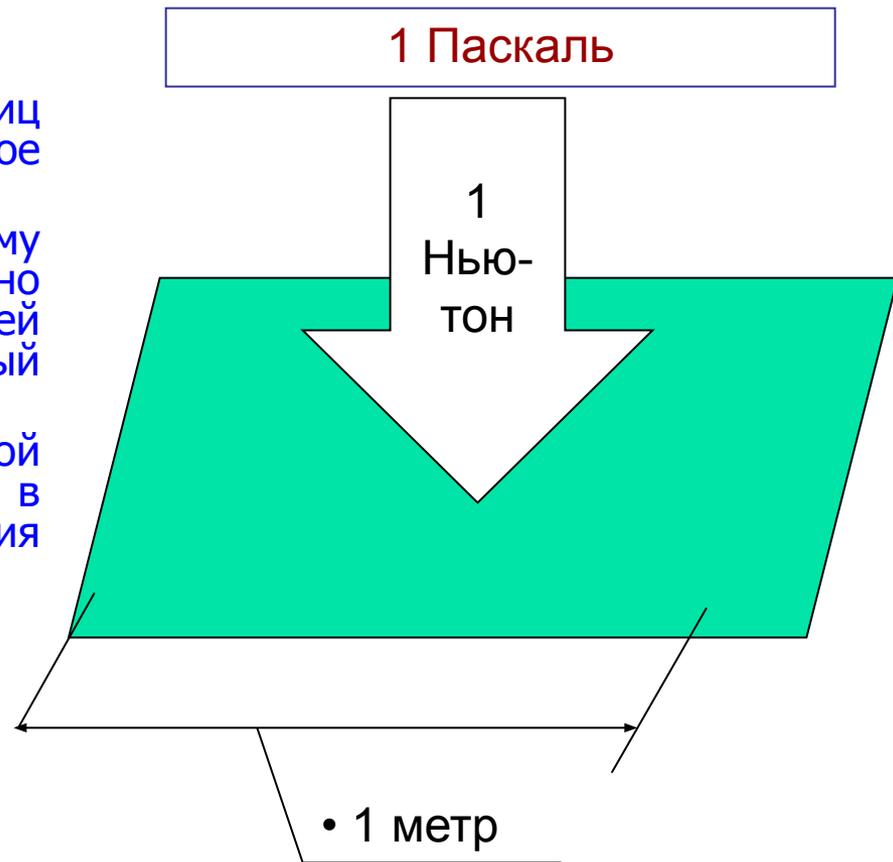


$$P = \frac{F}{S}$$



# ДАВЛЕНИЕ

- В Международной системе единиц (СИ) измеряется в паскалях (русское обозначение: Па; международное: Pa).
- Паскаль равен давлению, вызываемому силой, равной одному ньютому, равномерно распределённой по нормальной к ней поверхности площадью один квадратный метр.
- Наряду с паскалем в Российской Федерации допущены к использованию в качестве внесистемных единиц измерения давления следующие единицы:
  - бар;
  - килограмм-сила на квадратный сантиметр;
  - миллиметр водяного столба;
  - метр водяного столба;
  - атмосфера техническая;
  - миллиметр ртутного столба.



# Взаимосвязь единиц измерения давления

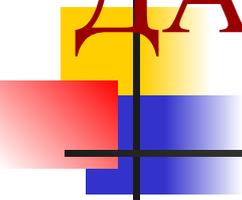
	<b>Паскаль (Pa, Па)</b>	<b>Бар (bar, бар)</b>	<b>Техническая атмосфера (at, ат)</b>	<b>Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр)</b>	<b>Метр водяного столба (м вод. ст., m H<sub>2</sub>O)</b>
<b>1 Па</b>	<b>1 Н/м<sup>2</sup></b>	<b>10<sup>-5</sup></b>	<b>10,197 · 10<sup>-6</sup></b>	<b>7,5006 · 10<sup>-3</sup></b>	<b>1,0197 · 10<sup>-4</sup></b>
<b>1 бар</b>	<b>10<sup>5</sup></b>	<b>1 · 10<sup>6</sup> ди Н/см<sup>2</sup></b>	<b>1,0197</b>	<b>750,06</b>	<b>10,197</b>
<b>1 ат</b>	<b>98066,5</b>	<b>0,980665</b>	<b>1 кгс/см<sup>2</sup></b>	<b>735,56</b>	<b>10</b>
<b>1 атм</b>	<b>101325</b>	<b>1,01325</b>	<b>1,033</b>	<b>760</b>	<b>10,33</b>
<b>1 мм рт. ст.</b>	<b>133,322</b>	<b>1,3332 · 10<sup>-3</sup></b>	<b>1,3595 · 10<sup>-3</sup></b>	<b>1 мм рт. ст.</b>	<b>13,595 · 10<sup>-3</sup></b>
<b>1 м вод. ст.</b>	<b>9806,65</b>	<b>9,80665 · 10<sup>-2</sup></b>	<b>0,1</b>	<b>73,556</b>	<b>1 м вод. ст.</b>
<b>1 psi</b>	<b>6894,76</b>	<b>68,948 · 10<sup>-3</sup></b>	<b>70,307 · 10<sup>-3</sup></b>	<b>51,715</b>	<b>0,70307</b>

# ДАВЛЕНИЕ

- Внутреннее избыточное (наружное)-давление, действующее на внутреннюю (наружную) поверхность стенки сосуда.
- При эксплуатации различают рабочее, пробное, расчетное, разрешенное давление.



# ДАВЛЕНИЕ



---

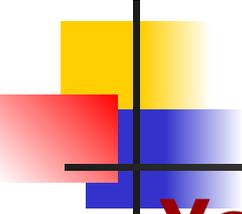
- **рабочее** - при нормальных условиях эксплуатации;
- **пробное** – для гидравлических испытаний;
- **расчетное** – на которое произведен расчет сосуда;
- **разрешенное** – установленное по результатам расчета на прочность, технического освидетельствования или диагностирования.

# ДАВЛЕНИЕ

Разрешенное давление может устанавливаться пониженным из-за технического состояния сосуда.

При этом понижается рабочее и пробное давление, а также производится перерасчет производительности предохранительных клапанов.





# ДАВЛЕНИЕ

---

- **Условное давление** – рабочее давление среды в арматуре и деталях трубопроводов, при котором обеспечивается их длительная эксплуатация при 20 \*С
- **Расчетная температура среды** – максимальная температура пара или горячей воды в трубопроводе или его фасонной части.

# Расчетный срок службы сосуда

Срок со дня ввода в годах, по истечении которого следует провести экспертное обследование технического состояния основных деталей сосуда, работающих под давлением, с целью определения допустимости, параметров и условий дальнейшей эксплуатации сосуда или необходимости его демонтажа.



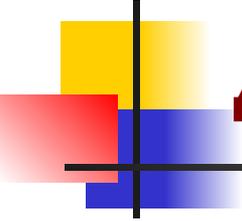
# Системы, работающие под давлением

■ Конструкция сосудов должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации в течение расчетного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки, ремонта, эксплуатационного контроля металла и соединений.

■ В общем случае можно рассматривать элементы сосуда и арматуру сосудов.



# Системы, работающие под давлением



---

- Конструктивные элементы сосудов, работающих под избыточным давлением:
- Обечайка
- Днище
- Опора
- Заглушка
- Штуцер
- Фланец и фланцевое соединение

# ОБЕЧАЙКА

Цилиндрическая оболочка замкнутого профиля, открытая с торцов. Представляет собой сварную или цельнотянутую конструкцию.



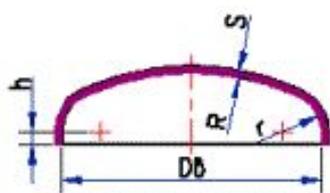
# Днище сосуда

- Днище - неотъемная часть корпуса сосуда, ограничивающая внутреннюю полость с торца

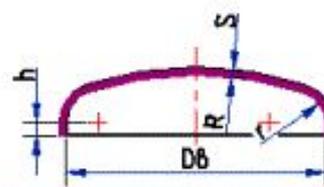


# Днища сосудов

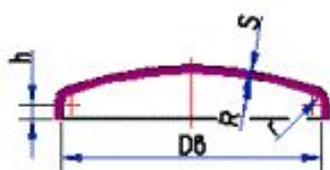
- В сосудах применяются днища: эллиптические, полусферические, торосферические, сферические неотбортованные, конические отбортованные, плоские отбортованные, плоские неотбортованные



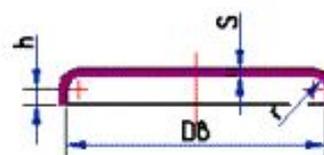
**Псевдоэллиптическое днище (nm C)**  
 $R=0,8D_{\text{в}}$   $D_{\text{в}}=800...5200$   
 $r=0,154D_{\text{в}}$   $r=150...650$   
 $h=3S$   $S=4...24 (4...30)$



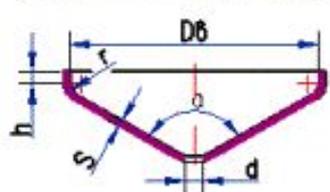
**Торосферическое днище (nm A)**  
 $R=D_{\text{в}}$   $D_{\text{в}}=800...5200$   
 $r=0,1D_{\text{в}}$   $r=100...510$   
 $h=3,5S$   $S=4...24 (4...30)$



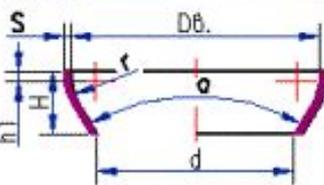
**Плоско-выпуклое днище**  
 $R=1,5D_{\text{в}}$   $D_{\text{в}}=800...5000$   
 $r=50$   $S=3...24 (4...30)$   
 $h=20...50$



**Плоское днище**  
 $r=50$   $D_{\text{в}}=800...7200$   
 $h=20...50$   $S=4...20 (4...30)$



**Коническое днище**  
 $a=120^{\circ}; 150^{\circ}$   $D_{\text{в}}=800...6500$   
 $r=50$   $S=3...24 (4...30)$   
 $h=20...50$

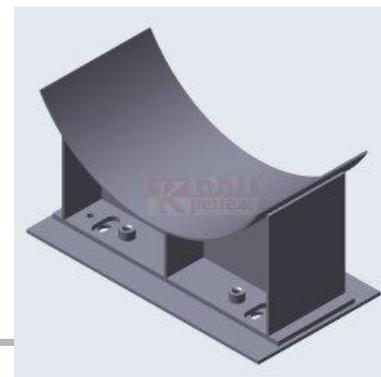


**Коническое днище**  
 $a=70^{\circ}; 90^{\circ}$   $D_{\text{в}}=1600...4500$   
 $r=0,1D_{\text{в}}$   $r=160...650$   
 $h=20...50$   $S=4...24$   
 $H_{\text{max}}=1000$

\* толщину указаны для высоколегированных и коррозионно-стойких сталей (в скобках указаны толщину для углеродистых и низколегированных сталей)

# Опора

Устройство для установки сосуда в рабочем положении и передачи нагрузок от сосуда на фундамент или несущую конструкцию.



# Заглушка

Отъемная деталь,  
позволяющая герметично  
закрывать отверстия штуцеров  
или вентиляей



# Штуцер

Элемент, предназначенный для присоединения к сосуду трубопроводов, трубопроводной арматуры, контрольно-измерительных приборов и т. п.



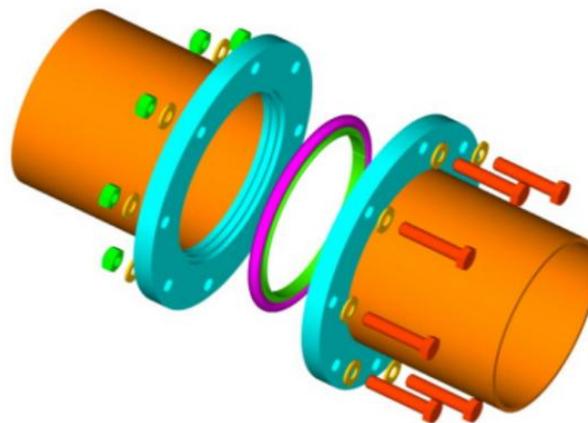
# Фланец

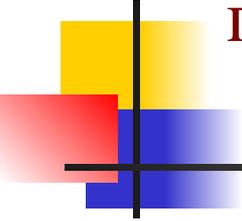
- **Фланец** (от нем. *Flansch*) — плоское или прямоугольное кольцо с равномерно расположенными отверстиями для болтов и шпилек, служащее для прочного и герметичного соединения трубы трубопроводной арматуры, присоединения их друг к другу, к машинам, аппаратам и ёмкостям, для соединения валов и других вращающихся деталей (*фланцевое соединение*). Фланцы используют попарно (комплект).



# Соединение фланцевое

Неподвижное разъемное соединение оболочек, герметичность которого обеспечивается путем сжатия крепежными деталями уплотнительных поверхностей непосредственно друг с другом или через прокладки из более мягкого материала.





## Сосуды, работающие под давлением, общее представление, назначение и область применения

---

При осуществлении различных технологических процессов, проведении ремонтных работ, в быту и т.д. широко распространены различные **системы повышенного давления:**

трубопроводы

- баллоны и емкости для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов
- паровые и водяные котлы
- паровые стерилизаторы
- резервуары, газгольдеры и др.

# Сосуды, работающие под давлением, общее представление, назначение и область применения

- **Трубопроводы** – это устройства для транспортировки жидкостей и газов. По существующему ГОСТу 14202-69 все жидкости и газы, транспортируемые по ним, разбиты на десять групп.

Для определения вида вещества, транспортируемого по трубопроводам, их окрашивают в соответствующие цвета (опознавательная окраска).



Транспортируемое вещество		Образцы и наименование цветов опознавательной окраски
Группа	Наименование	
1	Вода	Зеленый
2	Пар	Красный
3	Воздух	Синий
4	Газы горючие	Желтый
5	Газы негорючие	Желтый
6	Кислоты	Оранжевый
7	Щелочи	Фиолетовый
8	Жидкости горючие	Коричневый
9	Жидкости негорючие	Коричневый
0	Прочие вещества	Серый

Таблица размеров:

Варианты размеров	a, мм	b, мм	Высота букв h, мм	
			одна строка	две строки
1	26	74	19	-
2	52	148	32	19
3	74	210	50	25
4	105	297	63	32
5	148	420	90	50

Используемые цветовые сочетания согласно ГОСТ 14202-69:



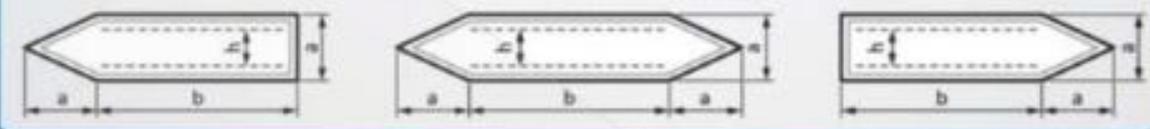
Варианты маркировки:



Использование предупреждающих знаков для маркировки трубопроводов с опасными веществами:



Форма и типовые размеры знаков маркировки трубопроводов:



Кроме опознавательной окраски на трубопроводы наносят предупредительные (сигнальные) **цветные кольца**:

**Красный** – Взрывоопасные, огнеопасные, легко воспламеняющиеся

**Зеленый** – Безопасные или нейтральные

**Желтый** – Токсичные или иной вид опасности, например глубокий вакуум, высокое давление, наличие радиации

# Сосуды, работающие под давлением, общее представление, назначение и область применения

- Ресиверы (сжатый воздух)
- **Ресивер** (*receiver* — приёмник) — технический сосуд под давлением, может принимать как жидкие, так и газообразные среды.
- Используется в качестве накопителя для хранения сжатого газа или жидкости под давлением и для сглаживания перепадов давления газа.
- Например, после компрессорных станций ресиверы устанавливаются в качестве воздухоотделителей и служат для сглаживания пульсаций давления после насоса, охлаждения и создания резерва сжатого воздуха, освобождения от капель масла и влаги.

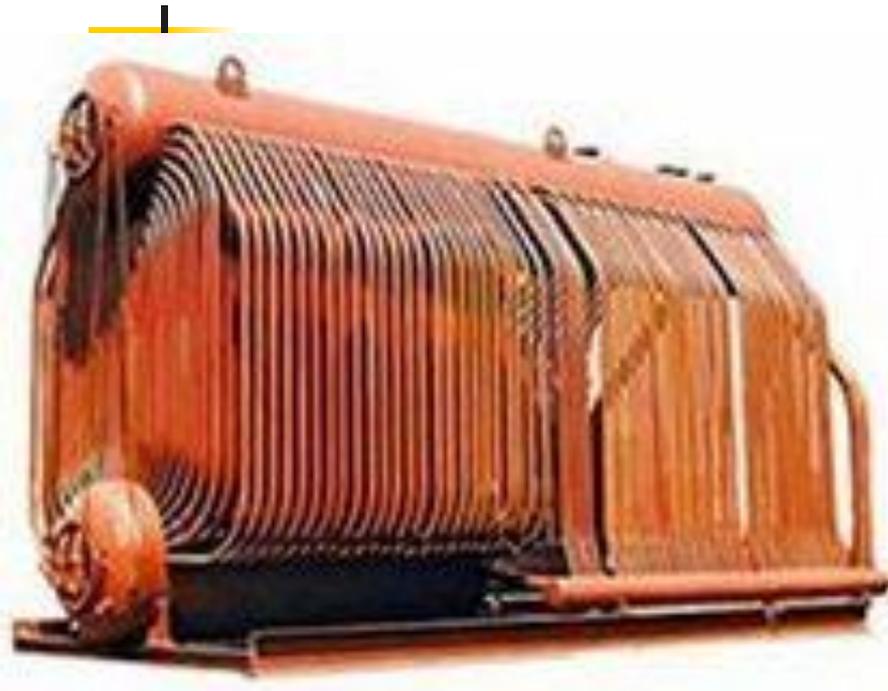


# Сосуды, работающие под давлением, общее представление, назначение и область применения

- Паровые котлы
- Паровой котел это теплоэнергетическая установка предназначенная для получения насыщенного или перегретого пара
- Перегретый пар используют в технологических целях, а насыщенный часто для парового отопления ( в бытовых целях)
- Паровые котлы характеризуются давлением до 13 МПа.
- Паровой котел ДКВР-20-13

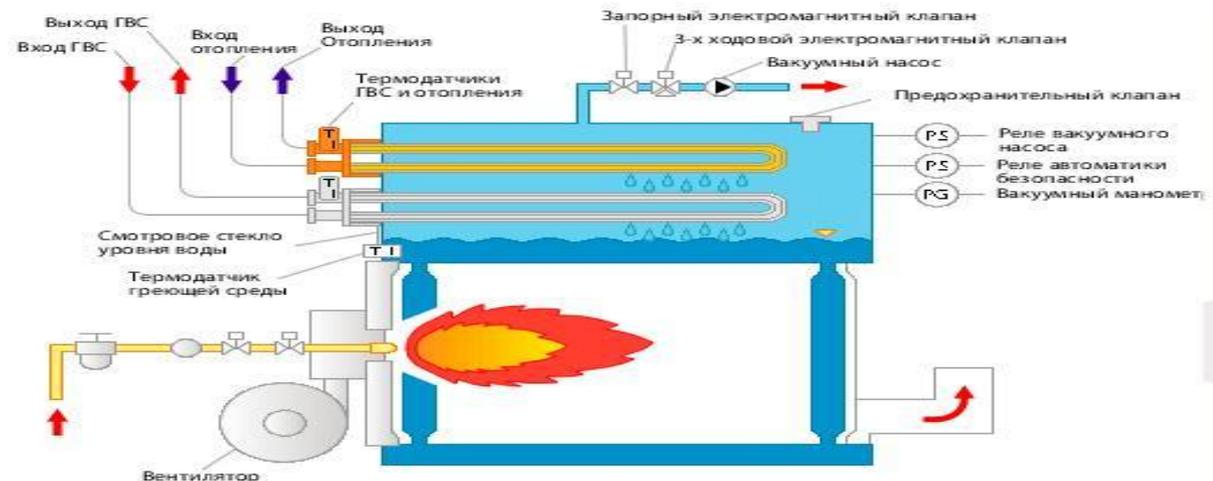


# Котёл ДКВр-20-13 ГМ

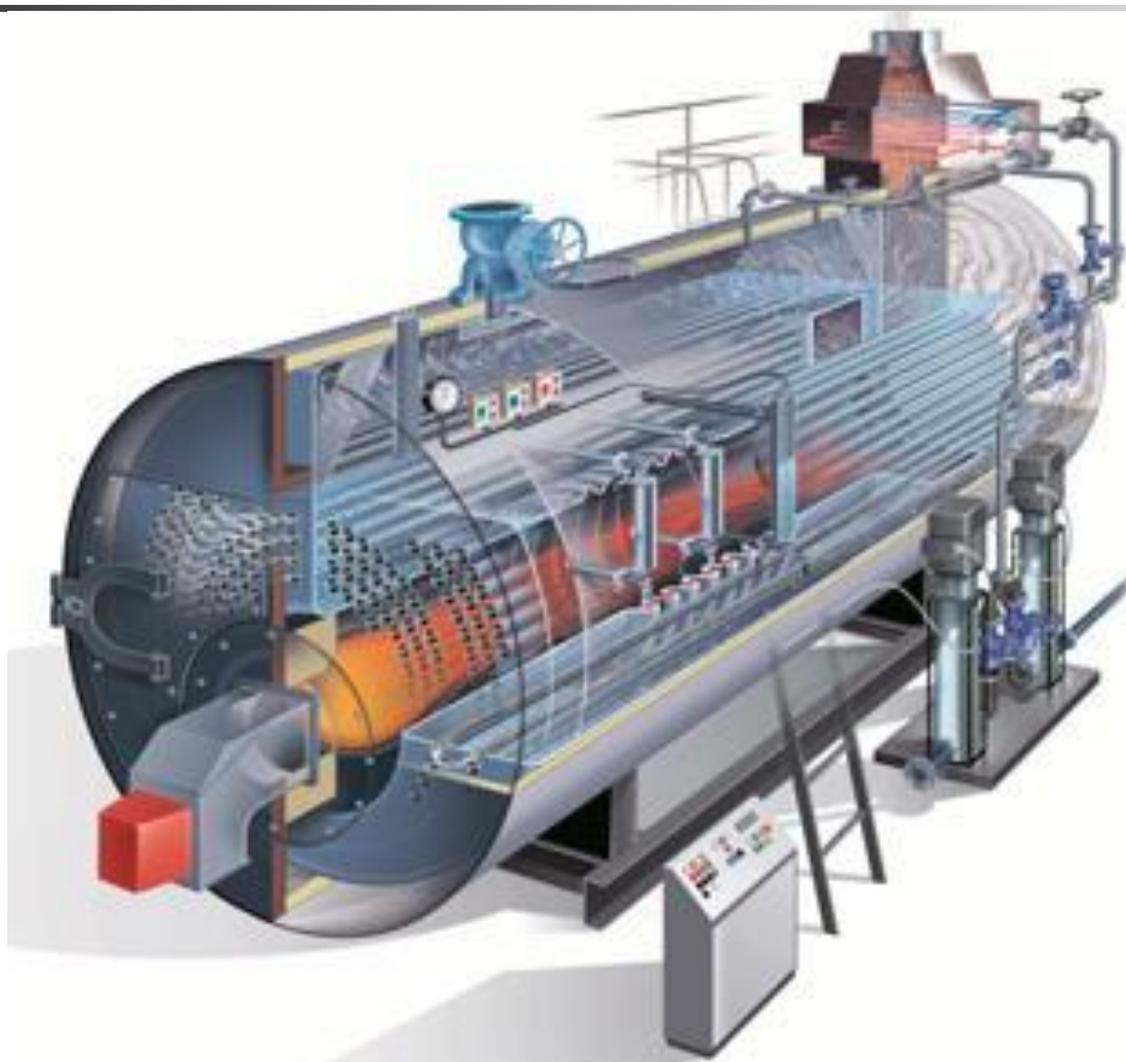


# Сосуды, работающие под давлением, общее представление, назначение и область применения

- Водогрейные котлы
- Водогрейный котел это теплоэнергетическая установка предназначенная для получения горячей воды (температура воду может достигать 200 градусов, что выше точки кипения)
- Вода используется для отопления и горячего водоснабжения, преимущественно в бытовых целях



# Водогрейные котельные установки



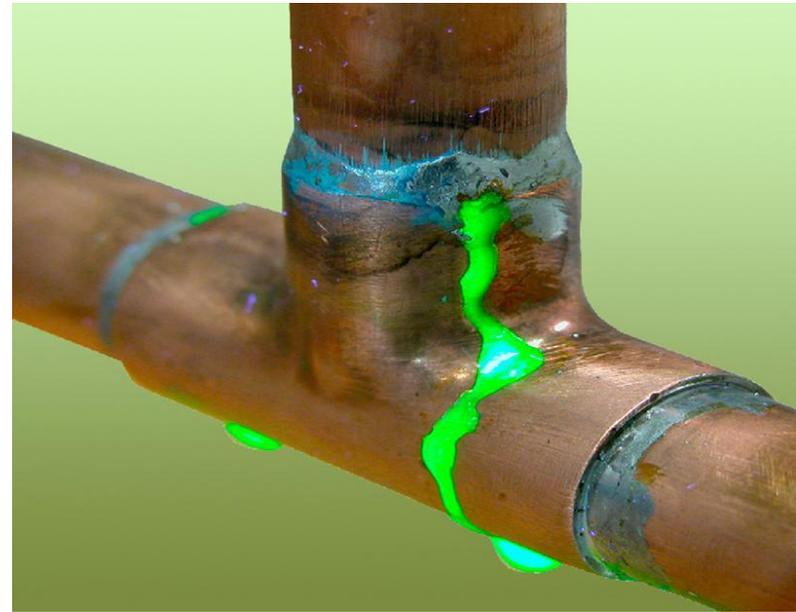
# Общие требования безопасной эксплуатации

Основное требование к этим сосудам – *соблюдение их **герметичности и прочности*** на протяжении всего периода эксплуатации.



# Общие требования безопасной эксплуатации

**Герметичность** – это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением.



# Общие требования безопасной эксплуатации

Второе важнейшее требование к сосудам – *прочность сосуда*.

**Прочность сосуда** – это способность сосуда и материала, из которого он изготовлен сопротивляться разрушению под воздействием избыточного давления.



# Общие требования безопасной эксплуатации

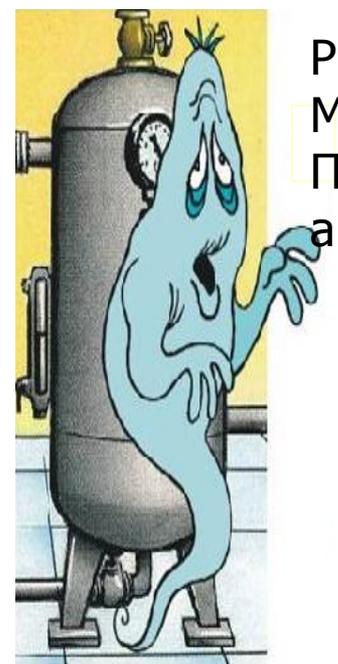
**Любые сосуды**, работающие под давлением, всегда представляют собой **потенциальную опасность**, которая при определенных условиях может трансформироваться в явную форму и повлечь тяжелые последствия.



# Общие требования безопасной эксплуатации

**Разгерметизация** (потеря герметичности) сосудов, работающих под давлением, достаточно часто сопровождается возникновением двух групп опасностей:

- взрыв сосуда или установки, работающей под давлением
- неблагоприятные последствия взаимодействия с веществами, находящимися в оборудовании, работающем под давлением



# Общие требования безопасной эксплуатации

**Взрыв** - быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, сопровождающийся освобождением **большого количества энергии** в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется **ударная волна**, способная создать угрозу жизни и здоровью людей.

При взрыве может произойти **разрушение здания**, в котором расположены сосуды, работающие под давлением, или его частей, а также **травмирование персонала** разлетающимися осколками оборудования.

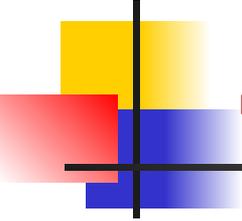


## Общие требования безопасной эксплуатации

Обслуживающий персонал может получить **термические ожоги**, если в разгерметизированной установке находились вещества с высокой или низкой температурой.

Если в сосуде находились агрессивные вещества, то работающие могут получить **химические ожоги**. Кроме того, при этом возникает опасность **отравления** персонала.

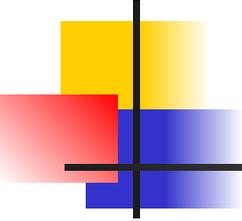




# Причины разгерметизации и нарушения прочности сосудов под давлением

---

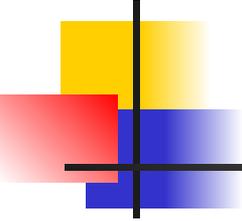
- **Конструкторские**
- **Технологические**
- **Эксплуатационные**



# Конструкторские причины

---

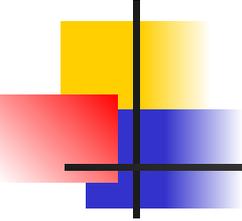
- неправильный выбор конструкции или отдельных ее элементов
- отсутствие проверочного расчета на прочность



# Технологические причины

---

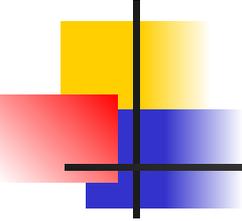
- появление дефектов конструкции, снижающих ее прочностные характеристики (литейные раковины, непровары, газовые поры и шлаковые включения сварных соединений, дефекты заклепок, внутренние и наружные трещины, прожоги)



# Эксплуатационные причины

---

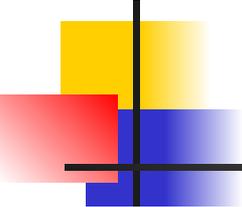
- нарушение режимов эксплуатации (превышение допустимых значений давлений, температур)
- побочные процессы в устройствах и установках (коррозия, образование накипи)
- образование смеси «горючее - окислитель»
- расширение жидкостей в замкнутых объемах вследствие нагрева;
- изменение свойств материалов в условиях разницы температур



# Условия безопасной работы оборудования под давлением

---

- соблюдение режимов и норм эксплуатации, определяемых Ростехнадзором
- периодичная и своевременная проверка оборудования перед запуском и во время эксплуатации с помощью контрольных приборов
- взрывозащита путем контроля состава воздушной среды и применения герметичного производственного оборудования и рабочей и аварийной вентиляции
- обслуживание оборудования должно осуществляться только лицами, прошедшими специальную подготовку, сдавшими экзамены и имеющими соответствующие удостоверения



# АРМАТУРА, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

---

- Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды в зависимости от назначения должны быть оснащены:
  - 1) запорной или запорно-регулирующей арматурой;
  - 2) приборами для измерения давления;
  - 3) приборами для измерения температуры;
  - 4) предохранительными устройствами;
  - 5) указателями уровня жидкости.
- Сосуды, снабженные быстросъемными затворами, должны иметь предохранительные устройства, исключающие возможность включения сосуда под давление при неполном закрытии крышки и открывания ее при наличии в сосуде давления.

# АРМАТУРА, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Служит для **отключения потока** транспортируемого вещества.

Вентиль



Задвижка



Кран



Поворотный затвор



Запорная

Служит для **регулирования параметров вещества** путем изменения его расхода или давления.

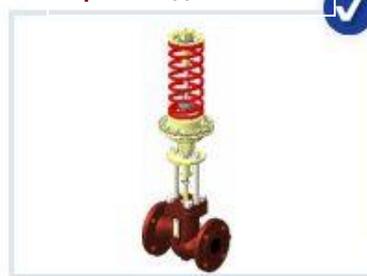
Регулирующий вентиль



Регулирующий клапан



Регулятор давления  
Прямого действия



Смесительный клапан



Регулирующая

# АРМАТУРА, КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Служит для **предохранения** оборудования и трубопроводов от недопустимого повышения давления

Пружинный предохранительный клапан

Мембранное предохранительное устройство



Рычажный предохранительный клапан



Обратный клапан



Фильтр



Конденсатоотводчик



Предохранительная



Специальная