



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Введение в гидродинамику. Основные характеристики
движения жидкостей

**к.т.н., старший преподаватель
НОЦ им. Кижнера
Богданов Илья Александрович**

вторник, 19 ноября 2024 г.



УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Решение уравнений движения Эйлера для установившегося потока приводит к одному из наиболее важных и широко используемых уравнений гидродинамики — **уравнению Бернулли**

Умножив левые и правые части каждого из уравнений **Эйлера** соответственно на **dx** , **dy** и **dz** и разделив на плотность получим:

$$\frac{dx}{d\tau} d\omega_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

$$\frac{dy}{d\tau} d\omega_y = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} dy$$

$$\frac{dz}{d\tau} d\omega_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

Сложим эти уравнения, учитывая, что производные выражают проекции $\frac{dx}{d\tau}$, $\frac{dy}{d\tau}$, $\frac{dz}{d\tau}$ скорости на соответствующие оси координат. Тогда:

$$\omega_x d\omega_x + \omega_y d\omega_y + \omega_z d\omega_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)$$

Слагаемые левой части этого уравнения могут быть представлены как:

$$\omega_x d\omega_x = d\left(\frac{\omega_x^2}{2}\right) \quad \omega_y d\omega_y = d\left(\frac{\omega_y^2}{2}\right) \quad \omega_z d\omega_z = d\left(\frac{\omega_z^2}{2}\right)$$

$$d\left(\frac{\omega_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{\omega_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{\omega_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{\omega^2}{2}\right)$$

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ

В то же время сумма членов, стоящих в скобках в правой части записанного уравнения, представляет собой полный дифференциал давления **dp** (при установившихся условиях давление зависит лишь от положения точки в пространстве, но в каждой данной точке не меняется со временем)



$$d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - g dz \longrightarrow$$

Разделив обе части этого уравнения на ускорение свободного падения **g** и перенеся все его члены в левую часть, получим:

поскольку для несжимаемой однородной жидкости **$p = \text{const}$** , а сумма дифференциалов может быть заменена дифференциалом суммы, получим:

$$\longleftarrow d\left(\frac{\omega^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0$$

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g}\right) = 0$$

или

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} = \text{const}$$

**уравнение Бернулли
для идеальной
жидкости**



УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ

Уравнение **Бернулли** для любых двух поперечных сечений 1 и 2 потока (трубопровода) можно представить в виде:



$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\omega_2^2}{2g} \longrightarrow z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} \quad \text{- полный гидродинамический напор}$$

Следовательно, согласно уравнению **Бернулли**, **для всех поперечных сечений установившегося потока идеальной жидкости гидродинамический напор остается неизменным**

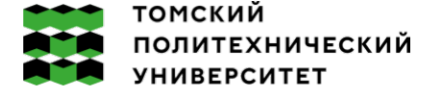
z - нивелирная высота, называемая также геометрическим, или высотным, напором представляет собой удельную потенциальную энергию положения в данной точке (данном сечении)

$\frac{p}{\rho g}$ - напор давления, представляет собой удельную потенциальную энергию давления

Сумма $z + \frac{p}{\rho g}$ называемая полным гидростатическим, или просто статическим напором следовательно, выражает полную удельную потенциальную энергию в данной точке (данном сечении)

УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ

Величину $\frac{\omega^2}{2g}$ называют скоростным напором. Скоростной напор характеризует удельную кинетическую энергию в данной точке (данном сечении).



Таким образом, согласно уравнению **Бернулли**, *при установившемся движении идеальной жидкости сумма скоростного и статического напоров, равная гидродинамическому напору, не меняется при переходе от одного поперечного сечения потока к другому*

Вместе с тем из уравнения **Бернулли** в соответствии с энергетическим смыслом его членов следует, что *при установившемся движении идеальной жидкости сумма потенциальной и кинетической энергии жидкости для каждого из поперечных сечений потока остается неизменной*

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ

Расчет гидравлического сопротивления при движении реальных жидкостей по трубопроводам является одним из основных прикладных вопросов гидродинамики.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Важность определения потери напора (или потери давления) связана с необходимостью расчета затрат энергии, требуемых для компенсации этих потерь и перемещения жидкостей, например, с помощью насосов или компрессоров.

Потери напора в трубопроводе в общем случае обуславливаются сопротивлением трения и местными сопротивлениями

Преодоление трения



Таким образом, потерь напор является суммой двух слагаемых

Местные сопротивления

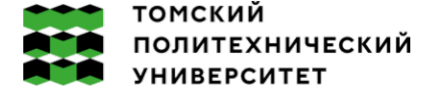


Таким образом, потерь напор является суммой

$$h_{\Pi} = h_{\text{тр}} + h_{\text{мс}}$$

ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА

Трубопровод состоит из прямых участков, выполненных из труб, а также из элементов, служащих для соединения его отдельных участков, частичного или полного перекрытия потока, регулирования расхода жидкости или газа в трубопроводе, обеспечения безопасности эксплуатации (**трубопроводной арматуры**).

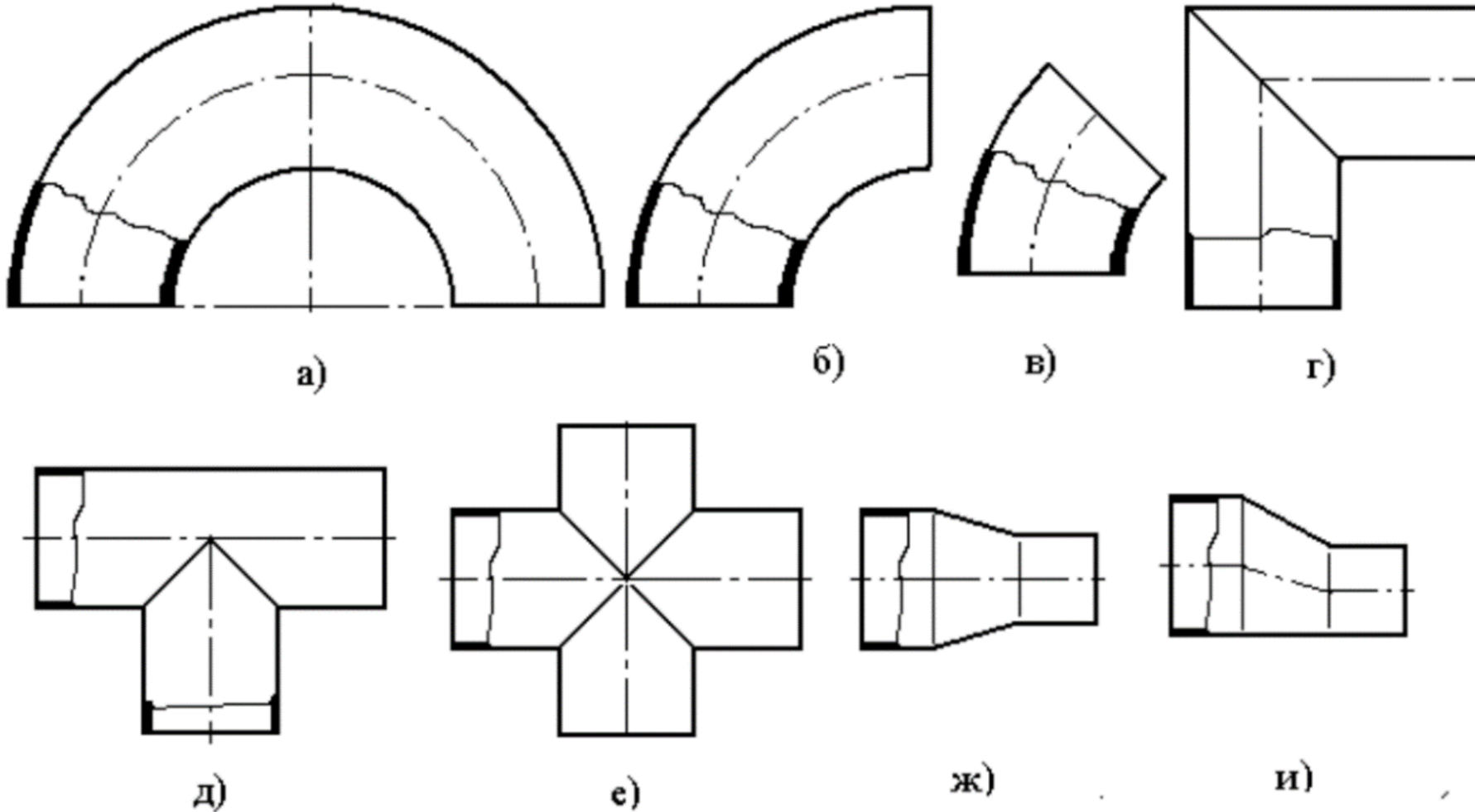


По функциональным признакам трубопроводную арматуру делят на:

- соединительную
- запорную
- регулирующую
- предохранительную

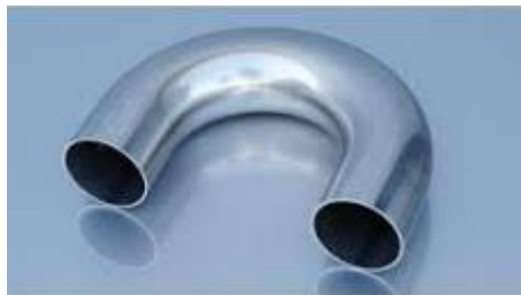


СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА



Элементы трубопроводов для неразъемных соединений: а) – отвод на 180° ; б) – отвод на 90° ; в) – отвод на 45° ; г) – угольник (колено); д) – тройник; е) – крестовина; ж) – переход конический осесимметричный; и) – переход конический ассимметричный

СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

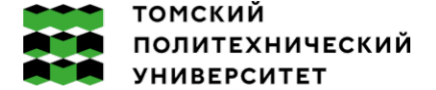


www.cs27.ru

При неразъемных соединениях участков и элементов трубопроводов используется их сварка, пайка, склеивание. Для неразъемных соединений используют отводы, угольники, тройники, крестовины, конические переходы

СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

Разъемные соединения в основном выполняются фланцевыми и резьбовыми. Основными соединительными элементами при разъемных резьбовых соединениях являются угольники, тройники, крестовины, муфты постоянного и переменных диаметров



Элементы трубопроводов
соединительные резьбовые:

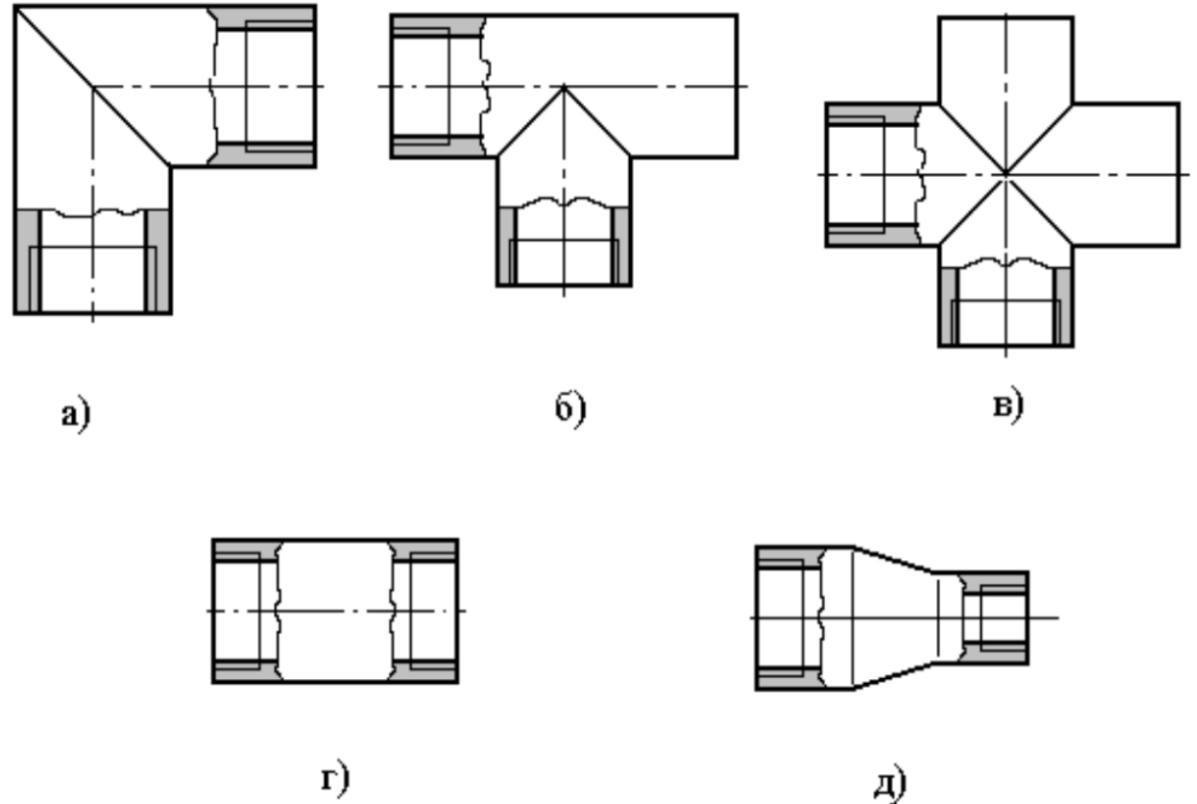
а) – угольник

б) – тройник

в) – крестовина

г) – муфта постоянного диаметра

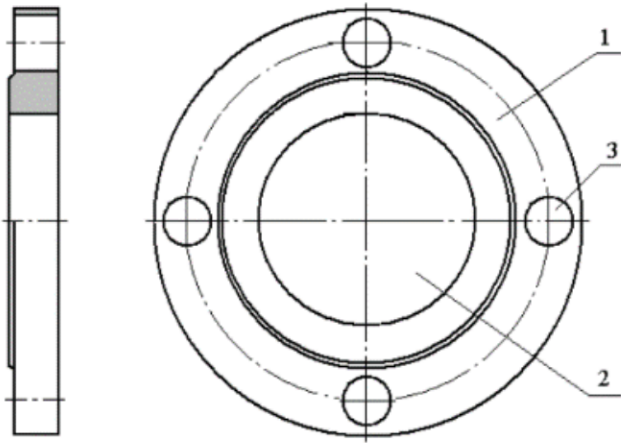
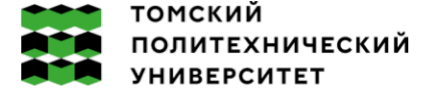
д) – муфта переменного диаметра



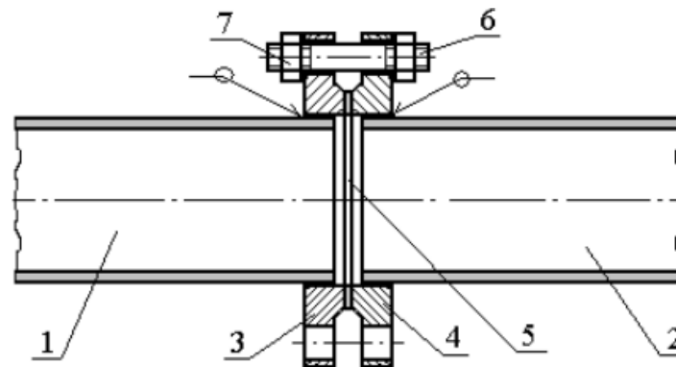
Резьбовые соединения в основном используются для трубопроводов небольшого, как правило не превышающего 50 мм, диаметра, по которым перемещаются неопасные или малоопасные среды.

СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

Более надежными по сравнению с резьбовыми соединениями трубопроводов являются фланцевые соединения.



Трубопроводный фланец представляет собой диск с центральным отверстием под трубу - 2. По периферии тарелки фланца равномерно по окружности выполняются отверстия под болты (шпильки) - 3. Одна из плоскостей тарелки фланца - 1 выполняется с соединительным выступом.

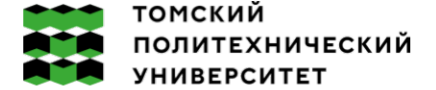


1,2 – участки трубопровода; 3 и 4 – фланцы; 5 – прокладка; 6 – шпилька; 7 – гайка

При фланцевом соединении участков трубопровода к каждому из этих участков приваривается по фланцу, как показано на рисунке.

ЗАПОРНАЯ И РЕГУЛИРУЮЩАЯ АРМАТУРА

Запорная арматура служит для перекрытия движения потока в трубопроводах, а также устанавливается на штуцерах оборудования, предназначенных для его опорожнения, сообщения с атмосферой и т. п. Регулирующую арматуру используют для регулирования (изменения) расхода жидкости или газа в трубопроводе



В качестве запорной арматуры используют:

- краны
- задвижки
- заслонки

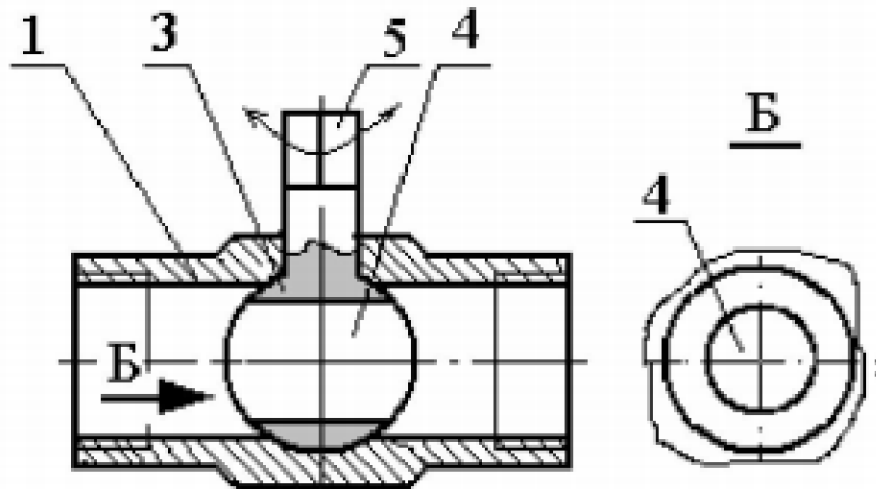
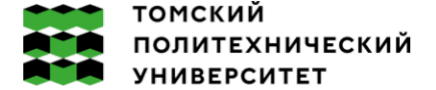


В качестве регулирующей арматуры в основном используют

- клапаны
- вентили
- задвижки

КРАНЫ

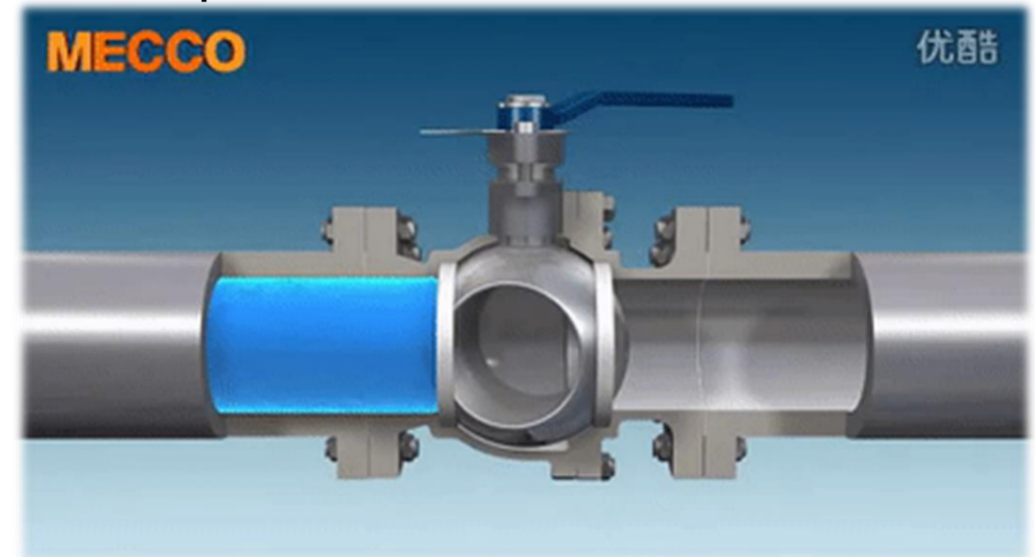
Кран имеет в качестве запорного органа тело вращения со сквозным отверстием (окном). Запорный орган крана имеет ось вращения, перпендикулярную оси корпуса. При повороте запорного органа вокруг оси вращения окно в нем может занимать положения: полностью закрыто; частично открыто; полностью открыто.



1 – корпус; 3 – запорный орган (шар); 4 – окно; 5 – хвостовик

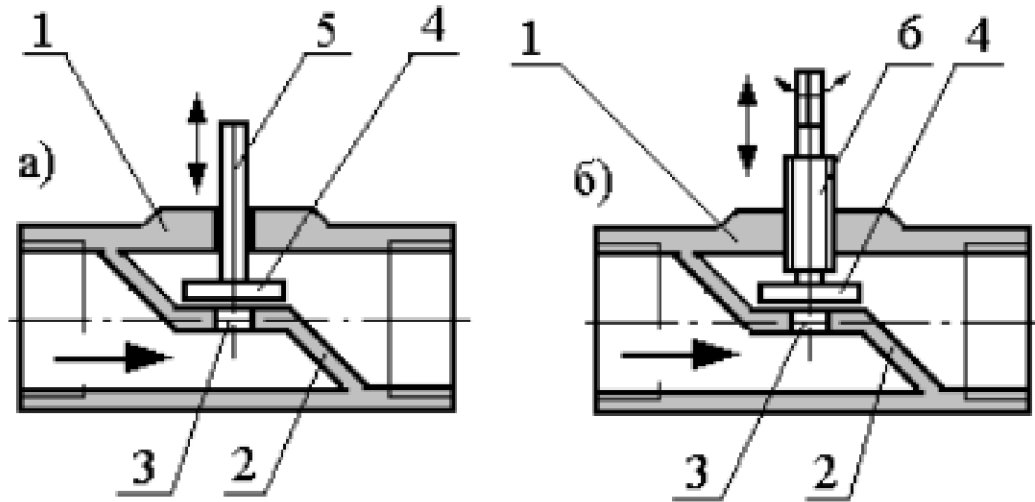
Существуют и многоходовые краны, обеспечивающие при различных положениях запорного органа перекрытие подачи жидкости либо ее подачу в один из трубопроводов на выходе

**Пробочные краны по сравнению с шаровыми проще и дешевле. Однако при одинаковых условных проходах они имеют большие габариты, а также большее гидравлическое сопротивление*



КЛАПАНЫ

Клапаны имеют внутри своего корпуса перегородку с отверстием, которое перекрывается запорным органом – золотником. Форма и исполнение золотника зависит от исполнения отверстия. Обычно запорные тела представляют собой тела в форме конуса. Запорные тела в собственно клапанах перемещаются с помощью штоков (шток способен совершать только поступательное движение), а в вентилях – помощью шпинделей, преобразующих вращательное движение в поступательное.



а) – клапан штоковый; б) – клапан вентильный

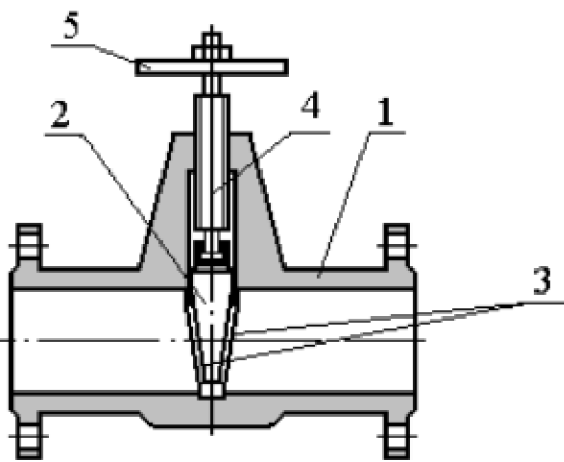
1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – отверстие; 4 – запорное тело – клапан; 5 – шток; 6 – шпindelь



Для клапанов и вентилях принципиально важна их правильная установка по отношению к направлению движения потока. Они должны устанавливаться таким образом, чтобы движение потока было в направлении отверстие – клапан, а не наоборот. Собственно клапаны являются более быстродействующими, чем вентиля. Однако с помощью вентилях легче обеспечить точную регулировку расхода среды в трубопроводе

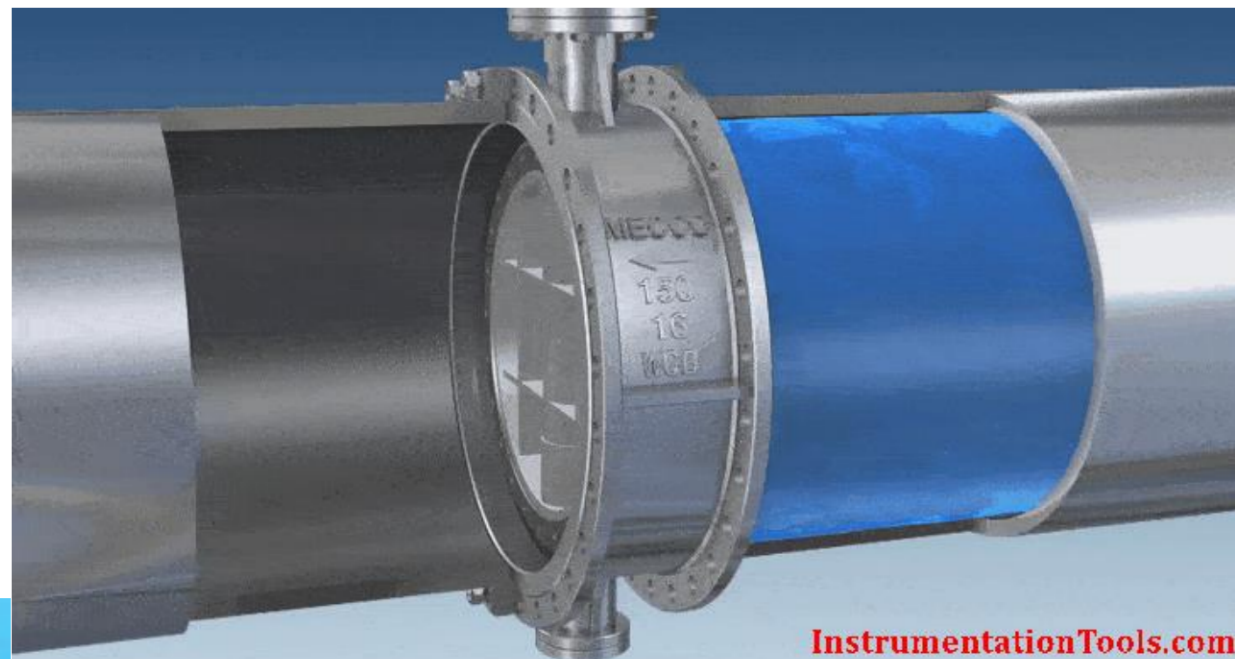
ЗАДВИЖКИ

Задвижки представляют собой устройства, в которых запорное устройство (обычно выполняется в виде диска) способно перемещаться поступательно перпендикулярно геометрической оси корпуса. Этот диск для улучшения условий работы задвижки обычно выполняют клиновидной формы.



Задвижка клиновидная

1 – корпус; 2 – клиновидный диск; 3 – уплотнительные поверхности; 4 – шпindel; 5 – маховичок шпинделя



Дисковый затвор - тип трубопроводной арматуры, в котором запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды. Наиболее часто такая арматура применяется при больших диаметрах трубопроводов, малых давлениях среды и пониженных требованиях к герметичности рабочего органа.