

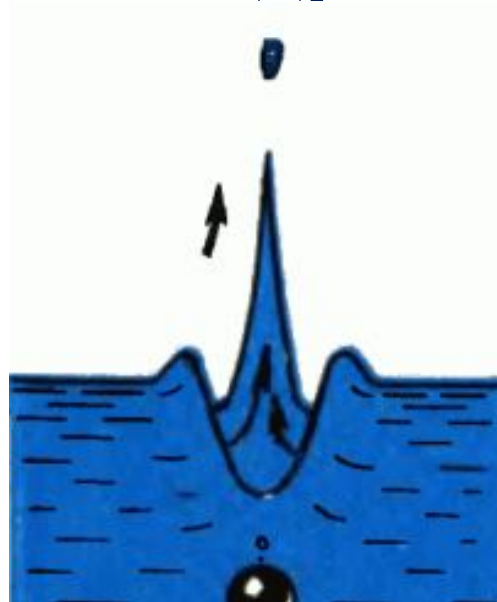
Гидравлический удар и его предотвращение

- * **Гидравлическим ударом** называется резкое повышение давления, возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока рабочей жидкости. Этот процесс является очень быстротечным и характеризуется чередованием резких повышений и понижений давления, которое связано с упругими деформациями жидкости и стенок трубопровода.
- * Гидравлический удар чаще всего возникает при **резком открытии или закрытии** крана или другого устройства, управляемого потоком

Последствия гидравлического удара



Последствия гидравлического удара



Стадии гидравлического удара



а) Пусть в конце трубы, по которой движется жидкость со скоростью V_0 , произведено **мгновенное** закрытие крана А.

Скорость частиц, натолкнувшихся на кран, будет погашена, а их кинетическая энергия перейдет в работу деформации стенок трубы и жидкости.

При этом стенки трубы растягиваются, а жидкость сжимается в соответствии с увеличением давления на величину $\Delta P_{уд}$, которое называется **ударным**.

Область (сечение n - n), в которой происходит увеличение давления, называется **ударной волной**.

Ударная волна распространяется вправо со скоростью c , называемой **скоростью ударной волны**.

Стадии гидравлического удара



б) Когда ударная волна переместится до резервуара, жидкость окажется остановленной и сжатой во всей трубе, а **стенки трубы - растянутыми**. Ударное повышение давления распространится на всю длину трубы



в) Под действием перепада давления $\Delta P_{уд}$ частицы жидкости устремятся из трубы в резервуар. Теперь сечение **n-n** перемещается обратно к крану со скоростью **c**, оставляя за собой выровненное давление P_0

Стадии гидравлического удара



г) Жидкость и стенки трубы **упругие**, и они возвращаются к прежнему состоянию, соответствующему давлению P_0 . Работа деформации переходит в кинетическую энергию (за вычетом потерь, которые м. б. весьма малы), и жидкость в трубе приобретает первоначальную скорость V_0 , но с обратным знаком.



д) Возникает отрицательная ударная волна под давлением $P_0 - \Delta P_{уд}$ (движется от крана к резервуару со скоростью c , за ней - сжавшиеся стенки трубы и расширившаяся жидкость. Кинетическая энергия жидкости вновь переходит в работу деформаций, но противоположного знака

Стадии гидравлического удара

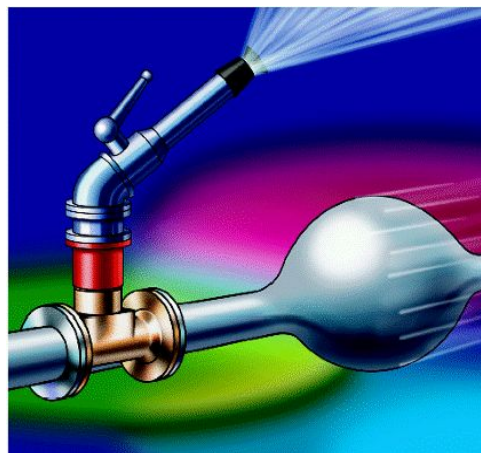


е) Состояние трубы в момент прихода отрицательной ударной волны к резервуару не является равновесным (аналогично случаю б, но с обратным знаком).



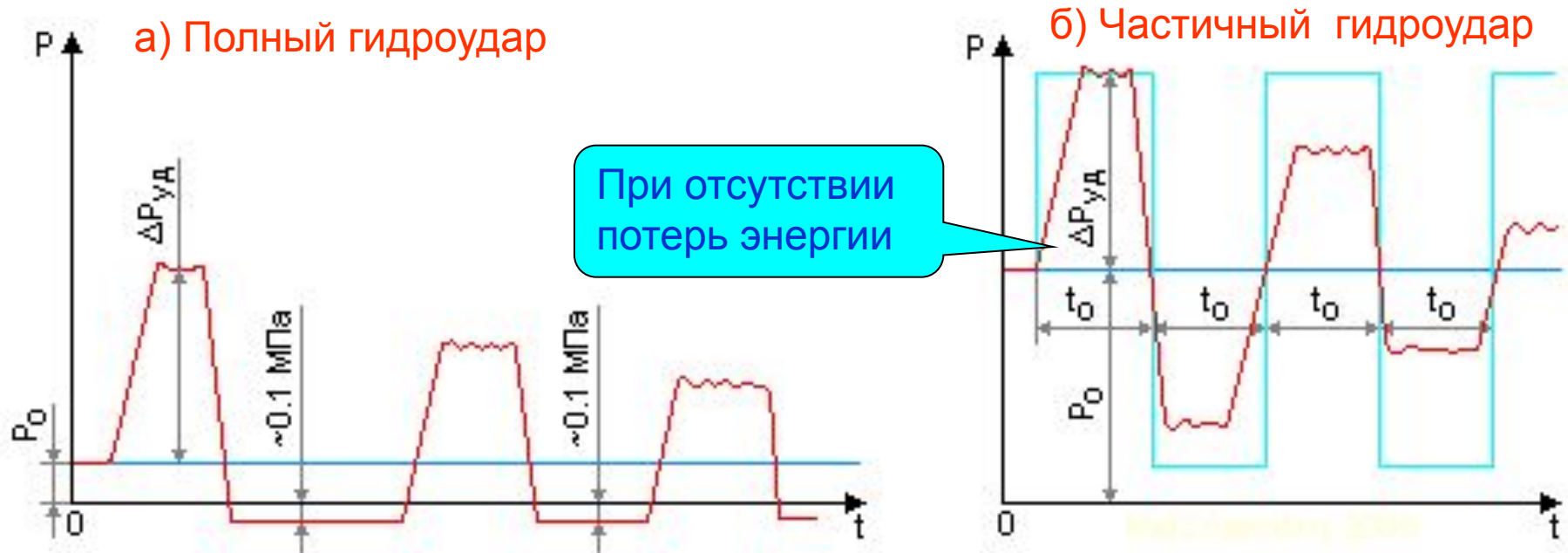
ж) Снова начинается процесс выравнивания давления в трубе и резервуаре, сопровождающийся движением жидкости со скоростью V_0 .

Как только отраженная от резервуара ударная волна под давлением $\Delta P_{уд}$ достигнет крана, возникнет ситуация а.



Весь цикл гидравлического удара будет повторяться с некоторым уменьшением амплитуды $\Delta P_{уд}$

Изменение давления при гидроударе



Явление гидравлического удара объяснил в 1897-1899 г. **Н.Е. Жуковский** - показал, что увеличение давления при гидроударе определяется по формуле:

$$\Delta p_{уд} = \rho \cdot c \cdot (V_0 - V) = \rho \cdot c \cdot \Delta V \quad - \text{формула}$$

$$c = 2L / \tau \quad - \text{скорость распространения ударной волны вдоль трубопровода, м/с;}$$

τ

- время закрытия задвижки, с.

Виды гидравлических ударов

В зависимости от **времени распространения ударной волны t** и **времени перекрытия задвижки τ** (или другой запорной арматуры) выделяются 2 вида ударов:

а) Полный (прямой) гидроудар - возникает, если время перекрытия задвижки меньше двойного времени пробега волны T .

$$\tau < T = \frac{2L}{c}$$

T - период трубопровода

Теряется вся скорость потока - переходит в энергию давления и упругих деформаций стенок трубы. Возможно повторное неоднократное прохождения фронта волны в прямом и обратном направлениях.

$$\Delta p_{\Pi} = a \cdot \rho \cdot V_0$$

a - заброс давления при полном гидроударе;
- скорость звука в трубе.

Скорость ударной волны (скорость звука) в трубе

$$c = a = \frac{l}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho \cdot r}{\delta \cdot E}}}$$

Здесь r - радиус трубопровода;
 E - модуль упругости материала трубы;
 δ - толщина стенки трубопровода;

K - объемный модуль упругости жидкости

Если труба имеет **абсолютно жесткие** стенки, $E = \infty$, то скорость ударной волны определится из выражения

$$a \approx \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Для воды эта скорость равна 1435 м/с, для бензина 1116 м/с, для масла 1200 - 1400 м/с

б) Частичный (непрямой) гидроудар

Если время закрытия задвижки больше фазы удара (периода трубопровода), такой удар называется непрямой.

$$\tau > T = \frac{2L}{c}$$

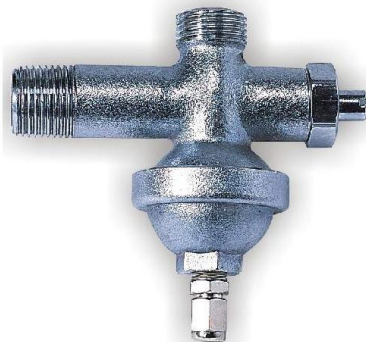
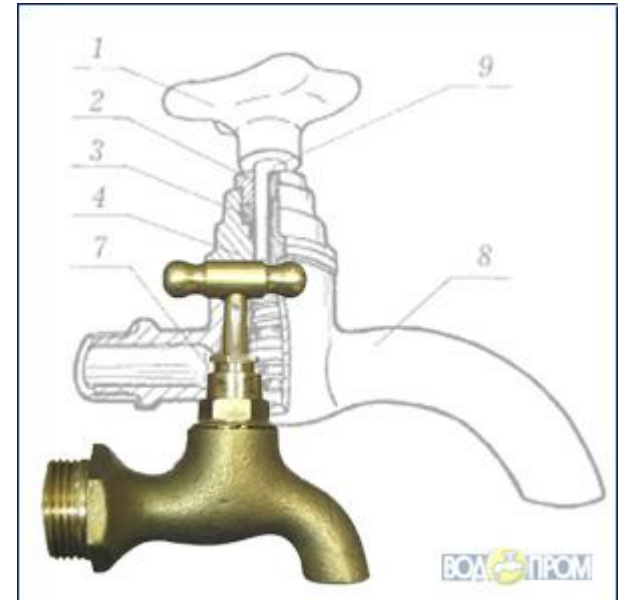
В этом случае дополнительное давление может быть определено по формуле:

$$\Delta p_n \approx \frac{T}{\tau} \Delta p_{II}$$

Ещё один вариант — наличие утечек из трубы во время гидроудара (неполное перекрытие трубы заслонкой или заглушкой, наличие в трубе дополнительных отверстий (созданных специально или аварийных) помимо входа. **Суммарная площадь таких отверстий или незакрытого просвета должна быть меньше внутреннего сечения трубы**, иначе гидроудара не будет в принципе.

Предотвращение возникновения гидравлического удара

- уменьшение скорости движения жидкости в трубопроводе, увеличив его диаметр;
- увеличение времени закрытия затвора;



- установка демпфирующих устройств-компенсаторов;
- уменьшение расстояния L между задвижками (переход к непрямому гидроудару).