

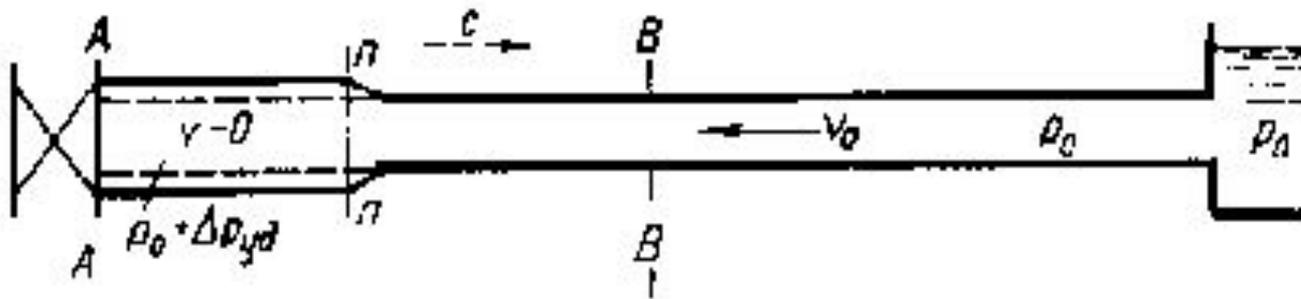
Гидравлический удар

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 управления потоком.

Пусть в конце трубы, по которой движется жидкость со скоростью V_0 , произведено мгновенное закрытие крана



При этом скорость частиц, натолкнувшись 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.

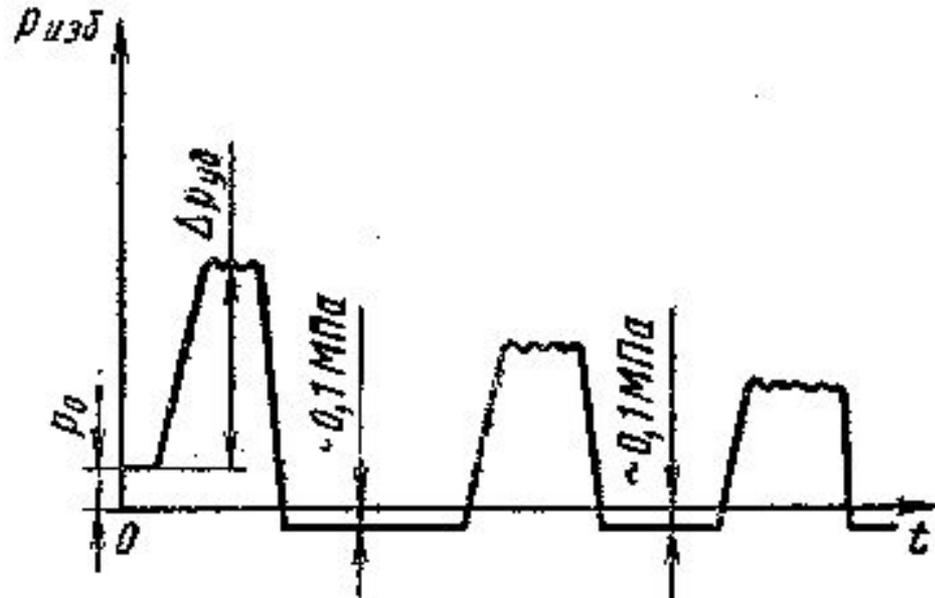
Когда ударная волна переместится до резервуара, жидкость окажется остановленной и сжатой во всей трубе, а стенки трубы - растянутыми. Ударное повышение давления распространится на всю длину трубы

Далее под действием перепада давления $\Delta P_{уд}$ частицы жидкости устремятся из трубы в резервуар, причем это течение начнется с сечения, непосредственно прилегающего к резервуару. Теперь сечение $n-n$ перемещается обратно к крану с той же скоростью C , оставляя за собой выровненное давление P_0 .

Жидкость и стенки трубы предполагаются упругими, поэтому они возвращаются к прежнему состоянию, соответствующему давлению P_0 . Работа деформации полностью переходит в кинетическую энергию, и жидкость в трубе приобретает первоначальную скорость V_0 , но направленную теперь в противоположную сторону.

С этой скоростью весь объем жидкости стремится оторваться от крана, в результате возникает отрицательная ударная волна под давлением $P_0 - \Delta P_{уд}$, которая направляется от крана к резервуару со скоростью C , оставляя за собой сжавшиеся стенки трубы и расширившуюся жидкость, что обусловлено снижением давления. Кинетическая энергия жидкости вновь переходит в работу деформаций, но противоположного знака.

Если давление P_0 невелико ($P_0 < \Delta P_{уд}$), то картина изменения амплитуды давления получается примерно такая, как показано на рис.



Повышение давления при гидравлическом ударе можно определить по формуле

$$\Delta P_{уд} = \rho V_0 c$$

Данное выражение носит название формулы Жуковского. В нем скорость распространения ударной волны **C** определится по формуле:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho r}{\delta E}}}$$

где r - радиус трубопровода;

E - модуль упругости материала трубы;

δ - толщина стенки трубопровода;

K - объемный модуль упругости

Если предположить, что труба имеет абсолютно жесткие стенки, т.е. $E = \infty$, то скорость ударной волны определится из выражения

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

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

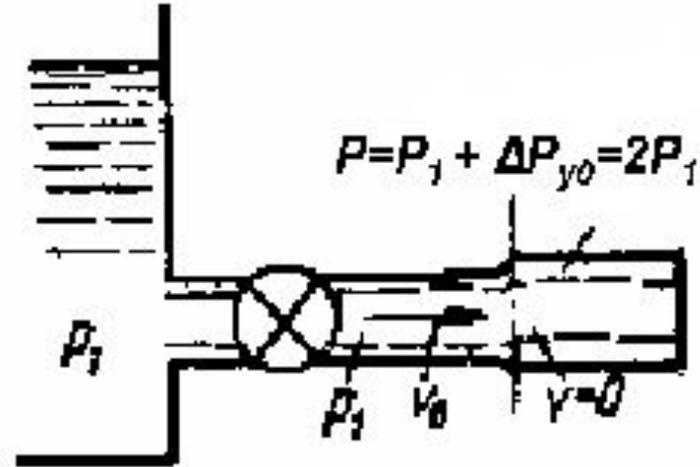
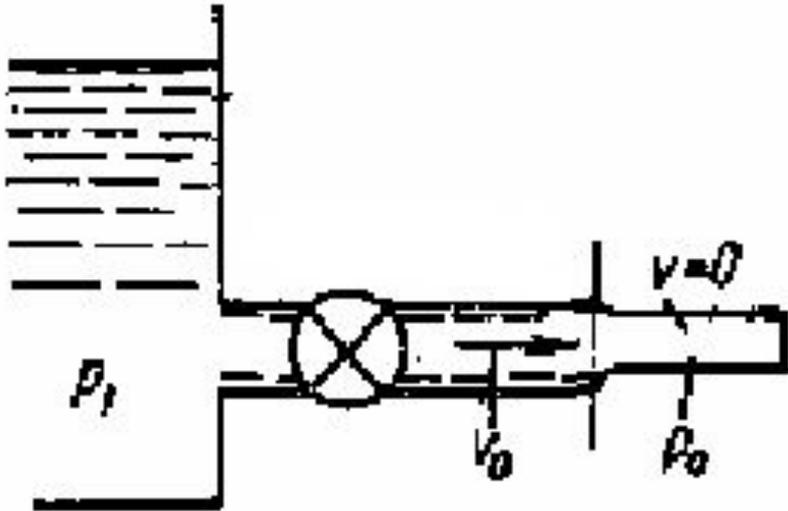
Для чугунных водопроводных труб при скорости воды 4 м/с $\Delta P_{уд} = 5 \text{ МПа}$.

Обычное давление в трубах **0,6 МПа**

Гидроудар в тупиковом трубопроводе

Резкое повышение давления в трубопроводе обусловлено внезапным подключением его к источнику высокого давления.

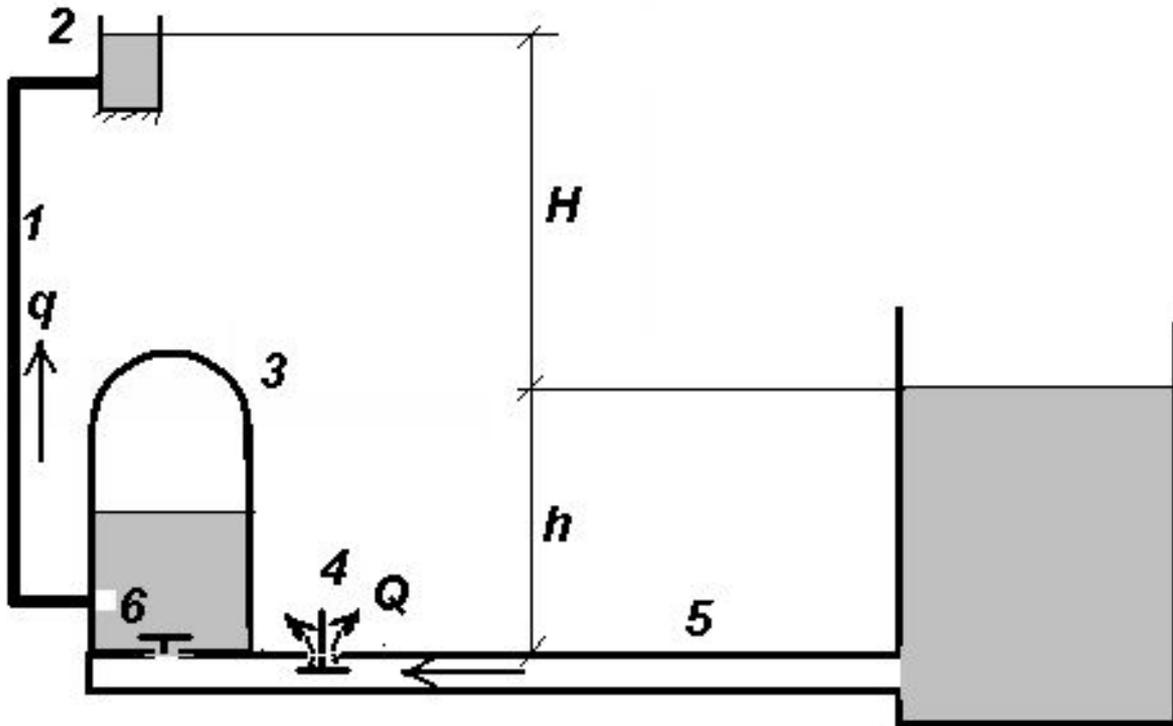
В тупиковом трубопроводе ударное давление может увеличиться в 2 раза по сравнению с давлением источника..



$$P_0 = 0 \quad V_0 = P_1 / \rho c \quad \Delta P_{y0} = \rho V_0 c = P_1 \quad P = P_1 + \Delta P_{y0} = 2P_1$$

Гидравлический таран

-- насос, использующий явление гидроудара.



- 1 – напорный трубопровод,
- 2 – приемный резервуар,
- 3 – воздушный колпак,
- 4 – ударный клапан,
- 5 – питающий трубопровод,
- 6 -- напорный клапан

Частота ударов около 100
в мин.

КПД 0,35 – 0,5

Данные конкретной машины

Диаметр трубы -- 74 мм, длина -- 15м, $h=6$ м, $H=60$ м, $Q=242$ л/мин, $q= 16$ л/мин