

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБОПРОВОДАХ
Блинов А.Г.,
научный руководитель канд. техн. наук Хомутов М. П.
Сибирский федеральный университет

Гидравлическим ударом называется резкое повышение или понижение давления в напорном трубопроводе в результате изменения скорости движения жидкости в нем. Причинами, вызывающими гидравлический удар, могут быть: внезапная остановка насосов (турбин), резкое закрытие задвижки, аварии на трубопроводе (разрыв, нарушение стыка и т. п.).

Изменение скорости движения жидкости в трубопроводе обуславливает изменение сил инерции, которые и вызывают повышение или понижение давления.

Явление гидравлического удара известно с давних времен, но теоретически это явление было впервые обосновано в конце прошлого века Н. Е. Жуковским (1898 г.), который установил, что гидравлический удар является сложным физическим процессом. Позднее проф. А. А. Морозов и проф. М. Д. Чертоусов развили его теорию, в результате этого удара происходит сжатие воды и расширение стенок труб (ударная волна).

Предохранительные клапаны и гасители удара предназначаются для предохранения водоводов и водопроводных сетей от разрушительного действия гидравлических ударов. Явления гидравлического удара пагубно отражаются на нормальной эксплуатации напорных водоводов и при отсутствии соответствующих мер по их устранению или смягчению могут привести к авариям.

Исследование причин аварий в одном из промышленных районов на питьевых и технических водопроводах показало, что 83% аварий (разрыв трубопроводов или арматуры) произошло от гидравлических ударов и лишь 17% от всех прочих причин (просадка грунта, внешние нагрузки на трубы и т.п.). Явления гидравлического удара наблюдаются во всех тех случаях, когда в трубопроводе происходит внезапное изменение скорости движения воды. Рассмотрим трубопровод, питающийся из резервуара и снабженный на конце задвижкой. При быстром закрытии задвижки и вызванной этим остановке воды живая сила ее движения расходуется на сжатие жидкости и растяжение стенок трубы, вызывая резкое повышение давления. В первый момент в трубопроводе останавливается ближайший к задвижке слой (участок) воды и в нем происходит мгновенное повышение давления. В следующий момент останавливается второй слой, дальше останавливается третий слой и т. д., причем в каждом слое при остановке давление повышается.

Таким образом, увеличенное давление, появившееся у задвижки, постепенно распространяется по трубопроводу против течения (в сторону от задвижки) в виде так называемой волны давления.

Согласно опытам проф. Н. Е. Жуковского скорость распространения ударной волны в трубе уменьшается с увеличением диаметра и уменьшением толщины ее стенок. Также уменьшается ударная волна и при уменьшении коэффициента упругости материала труб. Для стальных и чугунных труб значения X находятся в пределах 900—1 300 м/сек. Величина X в м/сек может быть определена по упрощенной формуле, выведенной на основе формулы Н. Е. Жуковского. В зависимости от соотношения времени полного пробега волны давления и времени движения t запорного органа (задвижки или клапана) различают удар прямой или непрямой.

Явление прямого гидравлического удара будет иметь место в тех случаях, когда закрытие трубопровода совершается настолько быстро, что через трубопровод пробегает волна давления лишь в одном направлении и обратная волна (пониженного давления) не успевает достигнуть запорного органа ранее конца его закрытия. Типичным примером прямого удара является удар, создаваемый быстро закрывающимися обратными клапанами обычного типа у электронасосов в результате прекращения подачи электрического тока.

Если же за время движения запорного органа через данное сечение трубопровода пробегает не только первичная волна (навстречу течению), но и отраженная от противоположного открытого конца трубы, то в этом случае имеет место не прямой гидравлический удар, т. е. не прямой гидравлический удар будет при условии времени закрытия крана в секундах. Типичным случаем возникновения непрямого гидравлического удара является повышение давления в водоводе при медленном закрытии задвижки или при закрытии обратного клапана, имеющего приспособление для медленной посадки. Гидравлический удар может начинаться как с волны повышенного, так и пониженного давления. Основные причины возникновения гидравлического удара таковы:

- 1) быстрое закрытие запорного органа в конце водовода или тупика водопроводной сети;
- 2) быстрое закрытие обратного клапана (типа «захлопка») вследствие внезапного выключения насосов из работы при перерыве в подаче тока;
- 3) переключение задвижек как на станции, так и на линии водоводов;
- 4) разрыв водяного столба в водоводе в результате накопления воздуха и последующего соударения разорвавшихся частей.

Одной из самых характерных и важных причин возникновения гидравлического удара на водоводах является быстрое закрытие обратного клапана вследствие внезапного выключения насосов из работы. В момент внезапной остановки насоса (при прекращении подачи электроэнергии и т. п.) вода, находящаяся в трубопроводе, продолжает двигаться в прежнем направлении. Давление у насосной станции падает, причем величина падения тем значительнее, чем больше длина водовода, и в некоторых случаях доходит до вакуума. Когда сила инерции израсходована, вода вследствие давления, обусловливаемого разностью отметок концов водовода, устремляется обратно и, встречая на своем пути у насосной станции обратный клапан, вызывает гидравлический удар. При проектировании насосных станций и водоводов необходимо всегда предусматривать меры для борьбы с гидравлическими ударами. Наиболее распространенным мероприятием для защиты от повышения давления более допускаемого является постановка предохранительных клапанов.

Клапаны устанавливаются: в насосных станциях или в колодцах около здания насосной станции (в последнем случае, как правило, в комбинации с обратным клапаном и за ним, считая от насоса) в тупиках сети, перед водоразборными кранами, задвижками и пр., т. е. в тех местах, где существует опасность возникновения гидравлических ударов. Наряду с постановкой предохранительных клапанов необходимо применять профилактические меры: постановку вантузов для освобождения трубопровода от скопления в нем воздуха, а иногда впуск воздуха в трубопровод для предупреждения вакуума, и установление достаточной длительности времени оперирования задвижками.

Предохранительные клапаны, применяемые в водопроводной практике, разделяются на две основные группы:

- 1) клапаны, применяемые при ударах, начинающихся с волны повышенного давления, — пружинные предохранительные клапаны;
- 2) клапаны, применяемые при ударах, начинающихся с волны пониженного давления, — гасители удара.

Предохранительные пружинные клапаны могут быть установлены в любой точке водоводов, водопроводной сети, а также на насосных станциях. Гасители удара применяются лишь в насосных станциях с центробежными электронасосами и на водоводах при них.

Явление гидравлического удара нашло применение и в технике. Примером того может служить гидравлический таран.

Гидравлический таран - весьма простое устройство, позволяющее подавать воду с некоторого горизонтального уровня на более высокую отметку, используя эффект гидравлического удара.

Устройство состоит (рис.1) из: рабочей камеры 1 с двумя клапанами - ударным 8 и нагнетательным 2, воздушного колпака 5, питательной трубы 3, соединяющей таран с водоемом 4, нагнетательной трубы 6, соединяющей таран с бассейном 7, расположенным выше водоема.

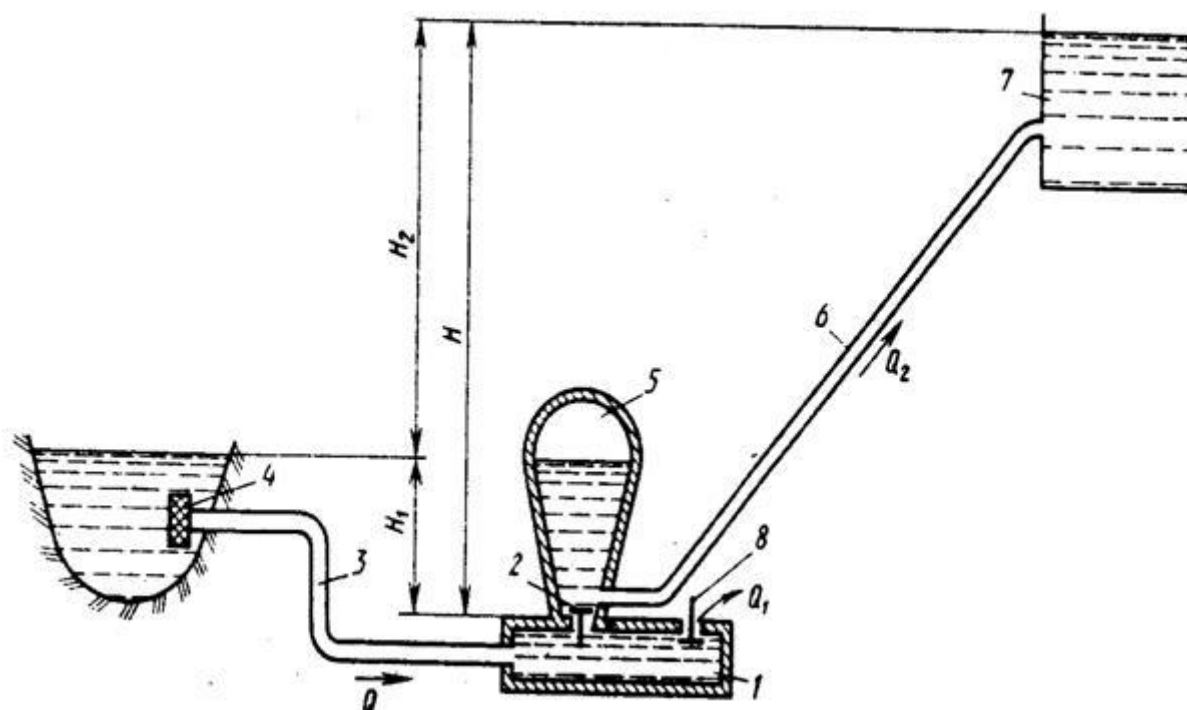


Рис.1. Схема гидравлического тарана

Рассмотрим принцип работы тарана. Для упрощения будем считать, что в начальный момент оба клапана тарана закрыты, избыточное давление в воздушном колпаке $p_r = \rho g H$, вода в водоеме неподвижна.

Для запуска гидротарана необходимо открыть ударный клапан 8. Вода начнет вытекать через этот клапан, а скорость течения воды в питательной трубе 3 будет постепенно увеличиваться от нуля до некоторой предельной величины, которая должна соответствовать напору и гидравлическим сопротивлениям в системе питательная труба – ударный клапан.

Одновременно со скоростным напором будет расти и гидродинамическое давление, действующее на ударный клапан снизу. Когда значение этого давления создаст усилие, превышающее вес клапана, последний закроется и произойдет гидравлический удар.

Давление в питательной трубе резко возрастет, в результате откроется нагнетательный клапан 2. Вода начнет поступать в воздушный колпак 5, сжимая в нем воздух, а из воздушного колпака по нагнетательному трубопроводу - в приемный бассейн.

В момент закрытия ударного клапана в питательной трубе 3 начнется волновой процесс, который приведет к уменьшению скорости и понижению давления в этой трубе. Поэтому спустя некоторое время после закрытия ударного клапана давление в питательной трубе уменьшится настолько, что нагнетательный клапан 2 закроется, а ударный клапан 8 автоматически откроется, и начнется новый цикл.

Таран работает автоматически, подавая воду порциями, а воздушный колпак сглаживает пульсацию воды в нагнетательной трубе, обеспечивая сравнительно равномерную подачу ее в верхний бассейн 7. Однако большая часть воды, поступающей из водоема, сбрасывается через ударный клапан.