

7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБОПРОВОДАХ

При мгновенной остановке потока в напорных трубопроводах возникает явление гидравлического удара. Величина добавочного давления может привести к разрыву трубопровода. Например, в стальных трубопроводах на каждый потерянный 1 м/с скорости потока возникает добавочное давление в 1 МПа.

Различают положительный и отрицательный гидравлические удары. Положительный гидравлический удар возникает перед задвижкой и начинается с повышения давления.

Отрицательный гидравлический удар возникает позади перекрывающего устройства и начинается с понижения давления (разряжения).

Гидравлический удар называется прямым, если отраженная от напорного бака волна вернется к задвижке, когда она уже будет закрыта. Такой случай возможен при довольно большой длине трубопровода или очень быстром закрытии задвижки.

Гидравлический удар называется непрямым, если отраженная волна придет к задвижке раньше, чем она будет закрыта. Рассмотрим прямой положительный удар.

Пусть из бака (рис. 6.1) по трубопроводу длиной l вытекает жидкость со скоростью v . При быстром закрытии задвижки происходит гидравлический удар. Увеличение давления в трубопроводе при гидравлическом ударе в первый момент происходит непосредственно у задвижки, а затем передается через соседние слои жидкости по всей длине l трубопровода с некоторой скоростью c , которая называется скоростью распространения ударной волны.

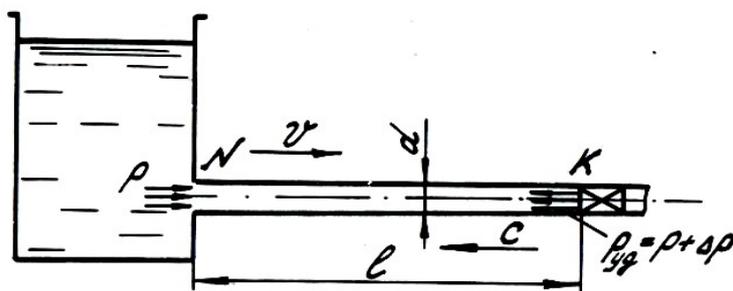


Рис. 6.1. Схема к расчету давления при гидроударе

Определим величину повышения давления при прямом гидравлическом ударе, считая перекрытие трубопровода задвижкой

мгновенным. Для этого воспользуемся теоремой об изменении количества движения, записав ее для объема жидкости, находящейся в трубопроводе между задвижкой и резервуаром.

Из теоремы об изменении количества движения следует, что приращение количества движения системы за некоторый промежуток времени равно сумме проекций импульсов сил на направление движения.

В момент закрытия крана количество движения жидкости в трубе равно

$$mv = \rho \frac{\pi d^2}{4} \ell v, \quad (6.1)$$

где ρ – плотность жидкости; d – диаметр трубы; ℓ – длина трубы.

А через время $t = \frac{\ell}{C}$ вся жидкость в трубопроводе остановится и количество движения будет равно нулю. Следовательно, изменение количества движения за время t будет равно

$$0 - \rho \frac{\pi d^2}{4} \ell v = - \rho \frac{\pi d^2}{4} \ell v. \quad (6.2)$$

В течение времени t на рассматриваемый объем жидкости действовали силы:

в сечении К:

$$F_K = (p + \Delta p) \frac{\pi d^2}{4}; \quad (6.3)$$

в сечении N:

$$F_N = p \frac{\pi d^2}{4}. \quad (6.4)$$

Результирующий импульс силы $F = F_N - F_K$ равен

$$Ft = F_N t - F_K t = - \Delta p \frac{\pi d^2}{4} \frac{\ell}{C}. \quad (6.5)$$

Приравнявая выражения (6.2) и (6.5), получим

$$- \rho \frac{\pi d^2}{4} \ell v = - \rho \frac{\pi d^2}{4} \frac{\ell}{C}. \quad (6.6)$$

Из формулы найдем повышение давления Δp :

$$\Delta p = \rho C v, \quad (6.7)$$

где C – скорость распространения ударной волны.

Полученное выражение является формулой Жуковского для определения величины приращения давления при прямом гидравлическом ударе.

В случае непрямого гидравлического удара приращение давления Δp ориентировочно определяется по формуле

$$\Delta p = \frac{2\rho \ell v}{t_{\text{зак}}}, \quad (6.8)$$

где $t_{\text{зак}}$ – время закрытия задвижки.

В своих исследованиях Жуковский показал, что скорость распространения ударной волны C зависит от упругих свойств жидкости и трубопровода и может быть определена по формуле

$$C = \frac{\sqrt{E_{\text{ж}} / \rho}}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \frac{E_{\text{ж}}}{E}}}, \quad (6.9)$$

где $E_{\text{ж}}$ – объемный модуль упругости жидкости; E – модуль упругости материала трубопровода; δ – толщина стенки трубопровода; d – внутренний диаметр трубопроводов.

Ударная волна в трубопроводах является вредным явлением, поэтому для предупреждения аварий необходимо предусматривать защитные меры:

- а) снижать скорость потока в трубопроводе;
- б) обеспечивать медленное перекрытие потока;
- в) при необходимости быстрого перекрытия использовать воздушный колпак (рис. 6.2), специальный гаситель удара и т.д.

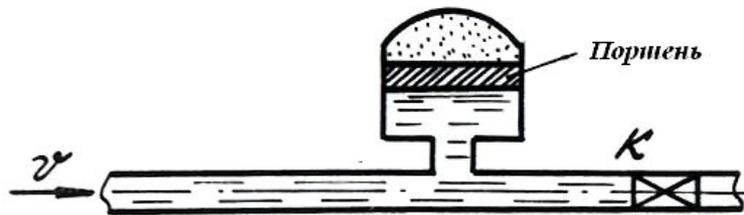


Рис. 6.2. Схема воздушного колпака

При наличии перед краном K (см. рис. 6.2) воздушного колпака в момент перекрытия крана часть жидкости поступает в воздушный колпак и через поршень сжимает находящийся там воздух, поэтому скорость жидкости будет уменьшаться не мгновенно, а постепенно. При понижении давления воздух расширяется и вытесняет из колпака жидкость.