

Местные потери зависят от скорости местных сопротивлений и определяются по формуле

$$h_m = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (2.40)$$

или

$$\Delta P = \zeta \frac{V^2}{2} \rho, \quad (2.41)$$

где ζ - коэффициент местного сопротивления.

Значения ζ устанавливаются экспериментальным путем и даются в справочниках. Приведем значения коэффициента ζ лишь для некоторых местных сопротивлений, показанных на схемах (рис.2.22):

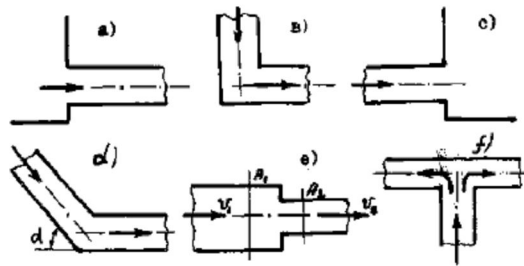


Рис.2.22.

а) выход из резервуара в трубу, $\zeta=0,5$; б) поворот при прямом колене, $\zeta=1,0 \div 2$; в) вход в большую емкость, $\zeta=1,0$; г) (резкий поворот, $\zeta=0,05-2,4$ (при $\alpha=20-140^\circ$); д) внезапное сужение потока; при отношении $\frac{S_2}{S_1}$ площадей сечений от 0,01 до 0,8) $\zeta=0,5 \div 0,15$; е) разъединение потока, $\zeta=1,0-1,5$.

Рис.2.22. Коэффициент потерь для кранов и задвижек зависит от конструкции и степени открытия (например, для открытой задвижки $\zeta=0,2$). При выходе из трубы в емкость скоростной напор теряется полностью, поэтому $\zeta=1,0$. Приведенные значения коэффициентов местных сопротивлений справедливы для турбулентного течения. При ламинарном режиме сказываются силы вязкостного трения, поэтому коэффициенты местных сопротивлений несколько больше, чем при турбулентном режиме.

2.11. Основы расчета трубопроводов

Трубопроводы, у которых местные потери напора составляют менее 10 % от потерь по длине, считаются гидравлически длинными, если же более 10 %, то гидравлически короткими.

Простым трубопроводом называется трубопровод из одного или нескольких последовательно соединенных труб разного диаметра (рис.2.23).

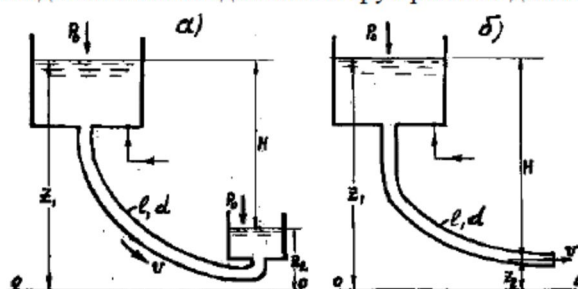


Рис.2.23

Истечение жидкости может происходить под уровень (рис.2.23 а) или в атмосферу (рис.2.23 б).

Уравнение Бернулли для свободных поверхностей жидкости при истечении под уровень будет

$$Z_1 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_0}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \Sigma h_w.$$

Величиной скоростного напора можно пренебречь (мала по сравнению с другими членами). Обозначая $Z_1 - Z_2 = H$, получим

$$H = \Sigma h_w.$$

Аналогично при истечении в атмосферу имеем

$$H = h_w + \frac{V^2}{2g}.$$

Таким образом, разность напоров полностью расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений по пути движения жидкости, а при истечении в атмосферу часть напора расходуется на создание кинетической энергии, уносимой потоком из трубы.

Для расчета трубопроводов используются формулы (2.34), (2.35), (2.41). Тогда

$$\Delta P = \rho \frac{V^2}{2} \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta \right). \quad (2.42)$$

Имея в виду, что $Q = V \cdot A$ (A - площадь поперечного сечения трубопровода), получим

$$\Delta P = Q^2 \left(\lambda \frac{l \cdot \rho}{2d \cdot S^2} + \Sigma \zeta \frac{\rho}{2S^2} \right). \quad (2.43)$$

или, обозначая выражение в скобках через B , получим

$$\Delta P = B \cdot Q^2. \quad (2.44)$$

Коэффициент В учитывает все виды сопротивлений, включая сопротивления на входе и выходе трубопровода.

Последовательное соединение трубопроводов. Рассмотрим как пример несколько труб (рис.2.24) различной длины, диаметра, соединенных последовательно и содержащих различные местные сопротивления (внезапные сужения, кран, вход и выход из трубы – 1,2,3,4,5). Очевидно, что расход во всех

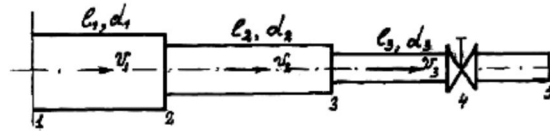


Рис.2.24

трубах один и тот же, а полная потеря напора (давления) между их числом и концом трубопровода равна сумме всех потерь, тогда расчетные уравнения

$$Q_1=Q_2=Q_3=Q \quad ,$$

$$\Delta P=\Sigma\Delta P_L+\Sigma\Delta P_M \quad ,$$

где $\Sigma\Delta P_L$ - сумма линейных потерь; $\Sigma\Delta P_M$ - сумма местных потерь.

В развернутом виде имеем

$$\Sigma\Delta P_L = \rho \left(\lambda_1 \frac{L_1 V_1^2}{d_1 2} + \lambda_2 \frac{L_2 V_2^2}{d_2 2} + \lambda_3 \frac{L_3 V_3^2}{d_3 2} \right) ,$$

$$\Sigma\Delta P_M = \rho \left(\zeta_1 \frac{V_1^2}{2} + \zeta_2 \frac{V_2^2}{2} + \zeta_3 \frac{V_3^2}{2} + \zeta_4 \frac{V_4^2}{2} + \zeta_5 \frac{V_5^2}{2} \right) .$$

П а р а л л е л ь н о е с о е д и н е н и е т р у б о п р о в о д о в. При параллельном соединении простых трубопроводов (рис.2.25) поток жидкости из водной магистрали разделяется на несколько участков, которые затем вновь соединяются в один магистральный трубопровод. Рассмотрим наиболее простой случай, когда точки входа А и выхода Б всех трубопроводов совпадают.

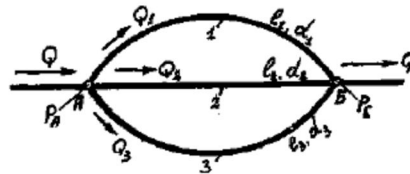


Рис.2.25

При этом потери напора во всех трубопроводах равны

$$\Delta p_1=\Delta p_2=\Delta p_3=p_A-p_B$$

С учетом (2.43) и (2.44) имеем

$$B_1 Q_1^2=B_2 Q_2^2=B_3 Q_3^2, \quad (2.45)$$

а из условий неразрывности

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3. \quad (2.46)$$

При заданном расходе Q и параметрах трубопровода определяем перепад давления $P_A - P_B$.

2.12. Гидравлический удар

Гидравлическим ударом называется явление изменения давления в гидросистеме в связи со значительным изменением скорости движения жидкости в течение короткого интервала времени. Особенно отчетливо гидравлический удар проявляется при внезапной остановке жидкости, например, при закрытии задвижки на трубопроводе, при работе клапанов и золотниковых регуляторов гидропривода, в устройствах изменения направления потока и т.д. Увеличение давления при этом может быть столь значительным, что может вызвать серьёзные аварии в системе. Поэтому в системах, подверженных гидравлическому удару, применяют специальные гасители и компенсаторы удара.

При гидравлическом ударе происходит колебательное движение жидкости, которое постепенно затухает вследствие наличия сил вязкостного трения. На рис.2.26 показан график изменения давления у запорного устройства, которое находится на расстоянии L от источника питания.

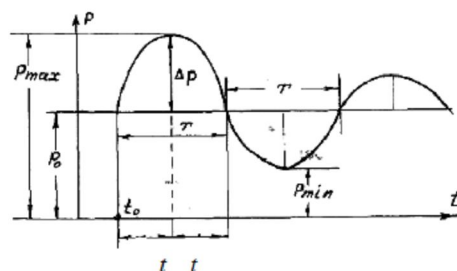


Рис.2.26

За время t волна повышенного давления распространяется на всю длину трубопровода. Тогда фазой удара будет промежуток времени

$$T = 2t = \frac{2l}{\alpha},$$

где α - скорость распространения волны гидравлического удара.

Максимальное давление при гидравлическом ударе будет

$$P = P_0 + \Delta P,$$

где ΔP - повышение давления при ударе; P_0 - начальное давление. Величину ΔP рассчитывают по формуле Н.Е.Жуковского: а) при полном закрытии запорного устройства

$$\Delta P = \rho \alpha V_0, \quad (2.47)$$

б) при неполном закрытии

$$\Delta P = \rho \alpha (V_0 - V), \quad (2.48)$$

где V_0 - начальная скорость жидкости; V - скорость жидкости после частичного закрытия запорного устройства.

Скорость распространения ударной волны зависит от упругости жидкости и материала трубы, а также от диаметра и толщины стенки трубы

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{\sqrt{1 + \frac{\kappa \cdot d}{E \cdot \delta}}}, \quad (2.49)$$

где κ - модуль упругости жидкости; E - модуль упругости материала трубы; α , δ - диаметр и толщина стенки трубы; $\alpha_0 = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$ - скорость звука в неограниченной среде с плотностью ρ .

Различают прямой удар, когда время закрытия запорного устройства $t_{\text{зак}} \leq \frac{2L}{\alpha}$, и непрямой удар, когда $t_{\text{зак}} > \frac{2L}{\alpha}$.

При прямом ударе

$$\Delta p = \rho \alpha V_0. \quad (2.50)$$

При непрямом ударе

$$\Delta p = \alpha \rho V_0 \frac{T}{t_{\text{зак}}}. \quad (2.51)$$

Модуль объемной упругости для деаэрированного минерального масла $\kappa = 16 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$; для стали $E = 20.6 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$; для воды $\kappa = 19.6 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$. Скорость распространения звука в минеральных маслах - (1300÷1400) м/с (для АГМ-10 при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, 1290 м/с), в воде - 1425 м/с.

При наличии в масле нерастворенного воздуха модуль упругости жидкости снижается, поэтому скорость ударной волны и величина ударного давления также будут ниже, чем при деаэрированной жидкости.

В гидроприводах и системах гидроавтоматики важное значение приобретают вопросы, связанные с гидравлическим ударом, так как скорости течения в них имеют большие значения (до 30 м/с), а время переключения запорных устройств доведено до тысячных долей секунды. Забросы давления в этих аппаратах могут в несколько раз превышать номинальное рабочее давление в гидросистеме. Так, например, испытания показали, что при переключении распределителей забросы давления достигали до 250 атм при рабочем давлении 100 атм.

Гидравлический удар наблюдается в отводах, причем повышение давления при ударе в какой-либо ветви гидросистемы вызывает гидравлический удар во всех отводах от нее и в особенности - в тупиковых (линии подсоединения измерительных и контрольных приборов).