

Гидравлические сопротивления. Потери давления. Потери напора (давления) в потоке жидкости вызываются гидравлическим сопротивлением двух видов: местными потерями и сопротивлениями по длине.

Местные сопротивления обусловлены изменениями скорости потока по величине или направлению. Сопротивления по длине обусловлены силами трения.

Потери напора по длине трубопровода h_l определяются по формуле Дарси-Вейсбаха. В соответствии с этой формулой

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (2.80)$$

где λ – коэффициент Дарси (коэффициент гидравлического трения, коэффициент путевых потерь), величина безразмерная; l – длина; d – внутренний диаметр трубопровода; V – средняя скорость потока; g – ускорение свободного падения.

Определение потерь напора по длине в трубопроводах некруглого поперечного сечения производится по формуле

$$h_l = \lambda \frac{l}{D_r} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (2.81)$$

где D_r – гидравлический диаметр сечения, $D_r = 4R_r$.

Местные потери h_m определяются по формуле Вейсбаха

$$h_m = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (2.82)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления, величина безразмерная. Коэффициент ξ находится опытным путем, берется из справочников. В некоторых случаях коэффициент ξ может определяться теоретически.

Местное сопротивление может быть заменено эквивалентной длиной l_3 по формуле

$$l_3 = \xi \frac{d}{\lambda}. \quad (2.83)$$

Т. е. длину трубопровода увеличивают на длину, эквивалентную по своему сопротивлению местному сопротивлению. Коэффициенты λ и ξ зависят от многих факторов, в частности от режима движения жидкости и шероховатости ограждающих поверхностей (трубопроводов).

Для определения потерь давления необходимо потери напора h_l или h_m умножить на удельный вес жидкости, т.е.

$$\Delta p_l = \gamma h_l; \quad \Delta p_m = \gamma h_m, \quad (2.84)$$

где γ – удельный вес жидкости ($\gamma = \rho g$).

Согласно методу наложения потерь общие потери напора в трубопроводе постоянного сечения определяются по формуле

$$h_{\text{пот}} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{V^2}{2g}. \quad (2.85)$$

Выражая скорость потока V из уравнения неразрывности потока (2.57) через расход Q и площадь живого сечения $S = \frac{\pi d^2}{4}$, получим

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}. \quad (2.86)$$

С учетом формулы (2.86) имеем следующие выражения для потерь напора:

$$h_{\text{пот}} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} = kQ^m, \quad (2.87)$$

где k – сопротивление трубопровода, $k = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{8}{\pi^2 d^4 g}$; m – показатель степени.

Значения k и m зависят от режима движения жидкости. Для ламинарного режима при замене местных сопротивлений эквивалентными будем иметь $k = f(l, l_3)$ и $m = 1$, для турбулентного режима $k = f(\lambda, \sum \xi)$ и $m = 2$.

Формула (2.87) является основной для расчета простых трубопроводов. Графическая зависимость выражения (2.87) называется характеристикой трубопровода.

Основными задачами при расчете трубопроводов являются следующие: определение расхода жидкости при известных диаметре, длине трубопровода и напоре; определение напора при известных расходе, диаметре и длине трубопровода; определение диаметра трубопровода при заданных расходе жидкости, длине и напоре. При гидравлическом расчете трубопроводов используют уравнение Бернулли (2.69), уравнение постоянства расходов (2.57) и уравнение потерь напора (2.87).