

Тема 4 Гидродинамика. Часть II

4.1 Гидравлический расчет трубопроводов

План лекции

1. Классификация трубопроводов
2. Расчетные гидравлические параметры для определения потерь напора в напорных трубопроводах
3. Расчет простых трубопроводов
4. Расчет сложных трубопроводов

Краткое содержание лекции

Общие потери напора в трубопроводах складываются из потерь по их длине и местных потерь. В зависимости от соотношения величин этих потерь различают короткие и длинные трубопроводы, простые и сложные.

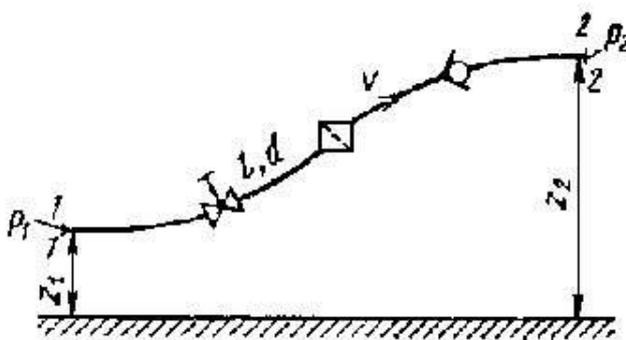


Рисунок 4.1- Схема простого трубопровода

Запишем уравнение Бернулли для сечений 1 — 1 и 2 — 2. Считая $\alpha_1 = \alpha_2$ и исключая скоростные напоры, получаем

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \Sigma h$$

или

$$\frac{P_1}{\rho g} = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \Sigma h$$

Сумма двух первых слагаемых $\Delta z + P_2/(\rho g)$ есть статический напор, и его можно представить как некоторую эквивалентную геометрическую высоту $H_{ст}$ подъема жидкости, а последнее слагаемое Σh — как степенную функцию расхода, тогда

$$H_{ном} = H_{ст} + \Sigma h = H_{ст} + KQ^m, \quad (4.1)$$

где величина K , называемая сопротивлением трубопровода, и показатель m имеют разные значения в зависимости от режима течения.

Для ламинарного течения при замене местных сопротивлений эквивалентными длинами получим

$$\Sigma h = 128 v l_{расч} \frac{Q}{\pi g d^4}$$

Следовательно,

$$K = 128 v l_{расч} / (\pi g d^4) \text{ и } m=1, \quad (4.2)$$

где $l_{расч} = l + l_{экр}$.

Для турбулентного течения, выражая скорость через расход, получаем:

$$\sum h = \left(\sum \xi + \lambda_{\tau} \frac{1}{d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}$$

следовательно,

$$K = \left(\sum \xi + \lambda_{\tau} \frac{1}{d} \right) \frac{16}{2g\pi^2 d^4} \text{ и } m=2.$$

Последовательным называют такое соединение трубопроводов, при котором жидкость протекает по трубопроводам разного диаметра, последовательно соединенным в одну нитку. При этом общие потери напора во всем трубопроводе получают путем сложения потерь напора, определенных на каждом отдельном участке: $\sum h_{M-N} = \sum h_1 + \sum h_2 + \sum h_3$, где $\sum h_1, \sum h_2, \sum h_3$ потери напора на 1, 2, 3, ..., n -м участке.

При *параллельном* соединении трубопроводов жидкость, подходя с определенным расходом к точке их разветвления, распределяется по ответвлениям и далее снова вливается в точке соединения этих трубопроводов. При этом сумма расходов по отдельным трубопроводам равна начальному расходу до разветвления. Очевидно, что потери напора по каждой отдельной ветви равны между собой.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q;$$

$$\sum h_1 = \sum h_2 = \sum h_3.$$

Разветвленное соединение. Разветвленным соединением называется совокупность нескольких простых трубопроводов, имеющих одно общее сечение — место разветвления (или смыкания) труб. При этом

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q;$$

$$H_M = H_{cm1} + K_1 Q_1^m.$$

$$H_M = H_{cm2} + K_2 Q_2^m;$$

$$H_M = H_{cm3} + K_3 Q_3^m.$$

Рассмотрим схему насосной установки, включающую центробежный насос, всасывающий и напорный трубопроводы (рисунки 5.1, 5.2). Напорный трубопровод представляет собой водовод, идущий от насосной установки до резервуара. Насосная установка, подающая воду в открытый резервуар, должна осуществить подъем ее расходом Q на геодезическую высоту H_z и кроме того, обеспечить преодоление сопротивлений движению воды во всасывающей и напорных трубах, характеризующиеся потерями напора $h_{пот}$. В этом случае потребный напор $H_{нотр}$ равен

$$H_{нотр} = H_z + h_{нотр}. \quad (4.3)$$

Суммарные потери напора

$$h_{нотр} = \left(\sum \xi_{в} + \lambda_{в} \frac{l_{в}}{d_{в}} \right) \frac{v_{в}^2}{2g} + \left(\sum \xi_{н} + \lambda_{н} \frac{l_{н}}{d_{н}} \right) \frac{v_{н}^2}{2g}, \quad (4.4)$$

где $\lambda_{в}$ и $\lambda_{н}$ - коэффициенты гидравлического трения всасывающего и напорного трубопроводов; $\sum \xi_{в}$, $\sum \xi_{н}$ - суммы коэффициентов местных сопротивлений во всасывающем и напорном трубопроводах; $l_{в}$ и $l_{н}$ - длины

всасывающего и напорного трубопроводов; $d_в$ и $d_н$ - диаметры трубопроводов; $v_в$ и $v_н$ - средние скорости в трубопроводах.

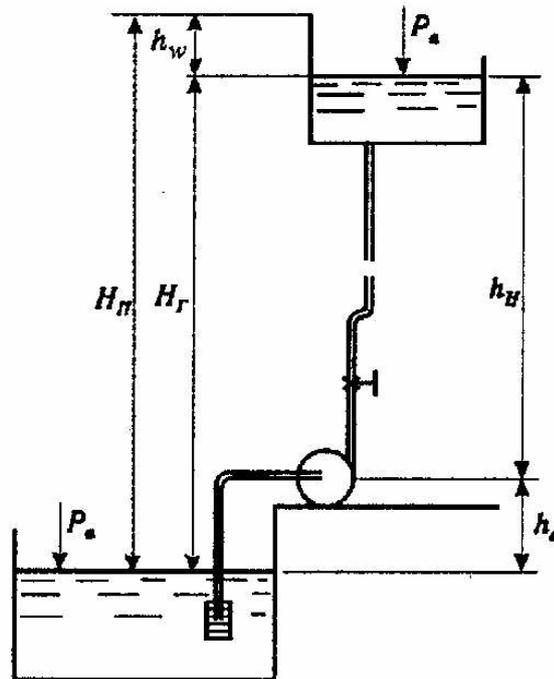


Рисунок 4.2 - Схема насосной установки

Средняя скорость во всасывающем и напорном трубопроводах

$$v_в = \frac{4Q}{\pi \cdot d_в^2}; \quad v_н = \frac{4Q}{\pi \cdot d_н^2}.$$

После подстановки в формулу (5.12) выражений для средних скоростей получим, что потери напора равны

$$h_{ном} = \frac{8}{g \cdot \pi^2} \left(\frac{\lambda_в(l/d)_в + \Sigma \xi_в}{d_в^4} + \frac{\lambda_н(l/d)_н + \Sigma \xi_н}{d_н^4} \right) Q^2 = kQ^2. \quad (4.5)$$

Значение k в формуле (5.13) называется сопротивлением трубопроводов насосной установки. Потребный напор для подъема воды на высоту $H_г$ и на преодоление гидравлических потерь в трубопроводах будет

$$H_{номр} = H_г + kQ^2. \quad (4.6)$$

Построенная графически зависимость $H_{номр} = f(Q)$ называется кривой потребного напора (характеристикой насосной установки). Кривая потребного напора используется для определения режима работы насосной установки.

Рекомендуемая литература

1. Б. Т. Емцев. Техническая гидромеханика М.: Машиностроение, 1987.
2. В.Г. Гейер и др. Гидравлика и гидропривод. М.:Недра, 1991.
3. Под редакцией С.П.Стесина. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод М.: АСADEMIA, 2005

Контрольные задания для СРС

1. Определение потерь напора и давления в трубопроводе.
2. Определение потребного напора в трубопроводе.
3. Определение расхода, потерь напора в случае последовательного, параллельного и разветвленного соединения трубопроводов.

4.2 Истечение жидкости через отверстия и насадки

План лекции

1. Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке
2. Типы сжатия струи
3. Истечение жидкости через насадки

Краткое содержание лекции

Отверстие считают *малым*, если его размер по высоте значительно меньше величины напора — не более 0,1 Н. *Тонкой стенкой* считают такую, у которой отверстие имеет заостренную кромку, при этом струя, вытекающая из отверстия, преодолевает лишь местные сопротивления.

Отношение площади сжатого сечения ω_c к площади отверстия ω называют *коэффициентом сжатия*:

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega} \quad (4.7)$$

По характеру сжатие бывает *полным*, если струя получает сжатие по всему периметру отверстия, и *неполным*, если струя не имеет боково-1 го сжатия с одной или нескольких сторон, например, когда отверстие примыкает к стенке или ко дну сосуда, которые при этом являются как бы направляющими для вытекающей струи.

Полное сжатие будет *совершенным*, если отверстие расположено на значительном расстоянии от боковых стенок и дна сосуда, так что они не оказывают влияния на сжатие струи (когда $m > 3$ а, где m — расстояние от стенок или дна, а — размер отверстия), и *несовершенным*, если на него оказывают влияние стенки или дно сосуда.

Скорость истечения жидкости из отверстия:

$$v = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (4.8)$$

где φ - коэффициент скорости.

Произведение коэффициентов сжатия ε и скорости φ называют *коэффициентом расхода* отверстия μ , т.е.

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi \quad (4.9)$$

Формула для расхода через малые отверстия в тонкой стенке имеет такой вид:

$$Q = \mu \cdot S_o \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \mu S_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (4.10)$$

Насадком называют короткую трубу, присоединенную к отверстию в тонкой стенке. Длина насадка равна трем – пяти диаметрам отверстия.

По формуле насадок может быть *внешним цилиндрическим, внутренним цилиндрическим, коническим сходящимся, коническим расходящимся и коноидальным.*

Рекомендуемая литература

1. Б. Т. Емцев. Техническая гидромеханика М.: Машиностроение, 1987.
2. В.Г. Гейер и др. Гидравлика и гидропривод. М.:Недра, 1991.
3. Под редакцией С.П.Стесина. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод М.: АСADEMIА, 2005

Контрольные задания для СРС

1. Определение коэффициента сжатия струи, коэффициента скорости, коэффициента местного сопротивления, коэффициента расхода.
2. Определение расхода жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре.
3. Определение расхода жидкости через насадки.