

Гидравлика

Гидравлика – это изучающая равновесие и движение жидкости прикладная гидромеханика, законы которой применяются для решения задач преимущественно инженерного характера.

К числу таких задач относятся: расчёт гидравлических сопротивлений при движении жидкости или газа по трубе; расчёт средних скоростей движения по трубе и расходов жидкости; определение скоростей истечения и т.п. Гидравлика разделяется на *гидростатику и гидродинамику*.

Жидкости делятся на *упругие* (газы и пары) и *капельные*. Капельной жидкостью называется непрерывная среда, обладающая свойством текучести, т.е. способностью неограниченно менять свою форму под действием сколько угодно малых сил, но в отличие от газа мало изменяющая свою плотность при изменении давления.

Физические свойства жидкостей

Плотность: $\rho = \frac{m}{V}$; $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$,

m - масса, кг,

V -объем, м^3 .

Плотность чистых веществ берут из справочников.

Плотность смесей вычисляют из равенства $m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$,

откуда : $\rho = \alpha_1\rho_1 + \alpha_2\rho_2 + \dots + \alpha_n\rho_n$, где $\alpha_i = \frac{V_i}{V}$ – объемная доля i -го

компонента смеси.

Сжимаемость газа : $\rho = \rho_0 \left\{ \left[\frac{273}{273 + t} \right] \left(\frac{P}{P_0} \right) \right\}$ – зависимость плотности от

давления и температуры для газа.

Молярная масса смеси : $M = \alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \dots + \alpha_n M_n$.

M_i – молярные массы компонентов.

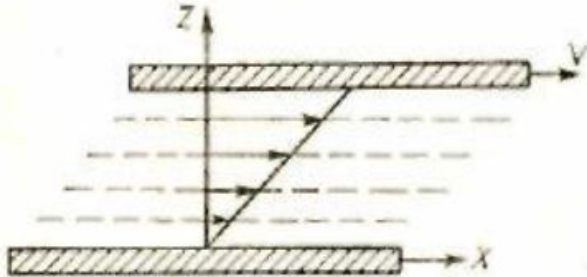
Плотность капельной жидкости зависит только от температуры :

$$\rho_t = \rho_{90} - A(t - 90) - B(t - 90)^2 ;$$

A и B - коэффициенты : Для $t = 40 \div 130$ $A=0,65$; $B=0,0025$.

Физические свойства жидкостей

Вязкость



Пусть между двумя одинаковыми пластинами заключена жидкость. Приведём верхнюю пластину в движение со скоростью v , а нижняя остаётся неподвижной. Молекулы жидкости, прилипшие к верхней пластине, будут увлекаться ею (v), и в свою очередь увлекать молекулы нижележащего слоя, и т.д. При этом

слои с меньшей скоростью будут оказывать тормозящее действие на слои, имеющие большую скорость. Возникающая здесь сила трения определяется уравнением Ньютона:

$$F = \mu S v / \ell - \text{закон вязкого трения ,}$$

где, v - разность скоростей движения пластин; ℓ - толщина слоя жидкости; S – поверхность одной пластины; μ - коэффициент динамической вязкости или просто динамическая вязкость.

Физические свойства жидкостей

Поверхностное натяжение.

Сила поверхностного натяжения

На поверхности жидкости молекулы сильнее притягиваются внутрь жидкости, и их часть переходит туда, поэтому поверхность жидкости находится в состоянии своеобразного натяжения. Совершаемая при этом работа, отнесённая к единице поверхности, называется поверхностным натяжением:

$$\sigma = \frac{A}{S} ; [\sigma] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}} , \sigma - \text{коэффициент поверхностного } S \text{ натяжения} .$$

Поверхностное натяжение может быть определено через увеличение поверхности, при котором совершаемая работа расходуется на увеличение поверхностной энергии. Коэффициент поверхностного натяжения может быть выражен через силу поверхностного натяжения (F) , деленную на длину (ℓ) границы поверхностного слоя : $\sigma = \frac{F}{\ell} .$

Гидростатика – это раздел гидравлики, изучающий равновесие жидкости и равновесие твердых тел, полностью или частично погружённых в жидкость.

Гидростатическое давление – это давление, которое оказывает неподвижная жидкость на дно и стенки сосуда, а также нижележащие слои жидкости. Оно всегда направлено нормально к площадке, на которую оно действует.

Если G – сила, действующая на выделенную в жидкости элементарную площадку ΔS , то среднее гидростатическое давление:

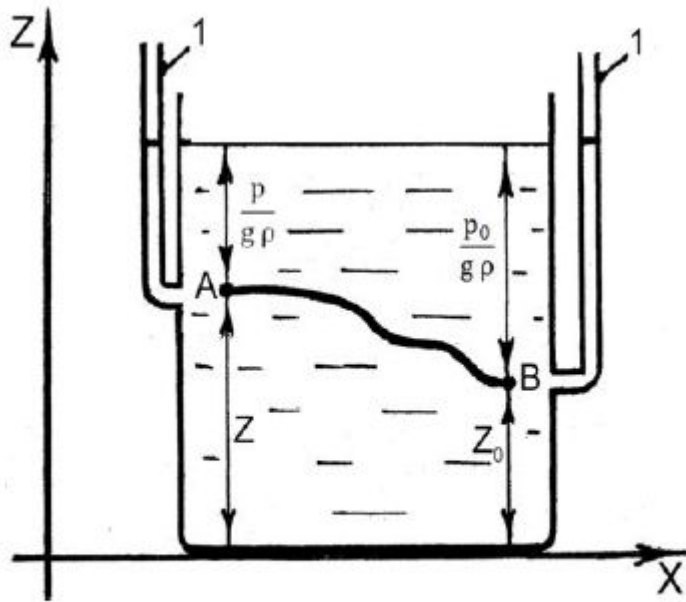
$$[p] = G/\Delta S \text{ Па.}$$

Если p – в точке, то $\Delta S \rightarrow 0$. Давление в точке жидкости одинаково во всех направлениях.

Техническая атмосфера:

$$1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 10^5 \text{ Па} = 1 \text{ ат.}$$

Основное уравнение гидростатики, уравнение Эйлера



$$\frac{p}{g\rho} + z = const$$

$\frac{p}{g\rho}$ - пьезометрическая высота

z - геометрическая высота, м.

К объяснению уравнения Эйлера
(1-пьезометр)

$$\frac{p}{g\rho} + z = \frac{p_0}{g\rho} + z_0 \quad , \quad p = p_0 + (z_0 + z)g \quad , \quad \boxed{p = p_0 + g\rho h}$$

Гидродинамика — раздел гидравлики, изучающий движение жидкостей и газов (в интервале дозвуковых скоростей), а также их взаимодействие с твердыми и жидкими телами, находящимися в жидкости или газе.

Движение жидкостей, называемое потоком жидкости, происходит по *открытым* или *закрытым* каналам (трубопроводам). Движение жидкости, не имеющей открытой поверхности, называется *напорным движением*. Напорные потоки занимают весь объём закрытого трубопровода. Движение по рекам, лоткам, каналам называется *безнапорным*. Движение жидкости, при котором её скорость в любой точке занятого жидкостью пространства, не меняется во времени, называется *установившимся* или *стационарным движением*. Поверхность, проведённая нормально к направлению движения жидкостей, называется *поперечным* сечением потока. Линия, по которой ограничивается живое сечение потока жидкости, называется *смоченным периметром*.

Объём жидкости, приходящей через живое сечение в единицу времени называется *расходом жидкости* (или производительностью):

Объемный расход

$$\boxed{Q = \frac{V}{t}}; [Q] = \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Весовой расход

$$\boxed{G = \nu S \rho}; [G] = \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Уравнение Пуазейля для расхода жидкости в круглой трубе:

$$Q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu \ell}$$

Средняя скорость потока равна: $\nu = \frac{Q}{S}$

Расход: $Q = \nu \cdot S$

Примерные скорости движения воды по трубам: во всасывающих трубах (0,8 – 2) м/с; при нагнетании (1,5 – 3) м/с.

Режимы движения вязких жидкостей

Существует *ламинарный и турбулентный* режимы движения. При медленном движении жидкости в прямолинейном трубопроводе движение является *ламинарным*. При ламинарном течении слои жидкости скользят друг по другу, не перемешиваясь. С увеличением скорости в отдельных слоях образуются вихри, за счет чего слои жидкости перемешиваются. Такое движение называется *турбулентным*.

Ученый Рейнольдс провел опыт, в котором струи жидкости в трубе были окрашенными. Он установил, что при увеличении скорости (V) течения, диаметра трубки (d) и плотности жидкости (ρ) и при уменьшении её вязкости (μ) до определенного критического значения, ламинарный режим переходит в турбулентный. Рейнольдс получил количественную характеристику, которая была названа *критерием Рейнольдса*:

$$Re = \frac{v \rho l}{\mu}$$

где l - характерный линейный размер, или d - диаметр круглой трубы.

Режимы движения вязких жидкостей

$$Re = \frac{v\rho l}{\mu}$$

ламинарный поток

$$Re \leq 2300$$

переходный поток

$$2300 \leq Re \leq 10000$$

турбулентный поток

$$Re \geq 10000$$

Основные законы и уравнения гидродинамики

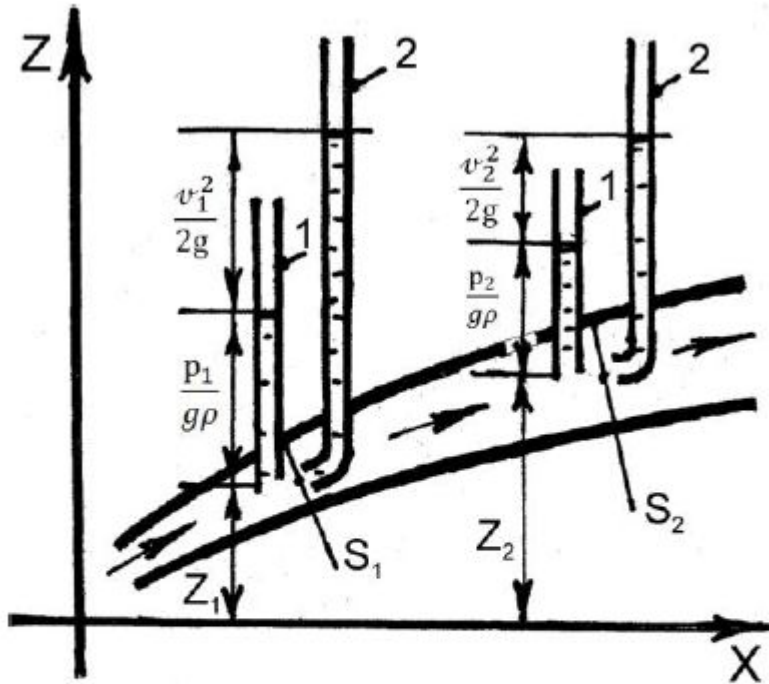
Уравнения расхода: $Q = v \cdot S$, $G = v \cdot S \cdot \rho$

уравнение Бернулли для
идеальной жидкости

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{g\rho} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{g\rho} + z_2$$

уравнение Бернулли для реальной
жидкости

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{g\rho} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{g\rho} + z_2 + h$$



К объяснению уравнения
Бернулли идеальной жидкости
(1-пъезометр, 2- трубка Пито)

Уравнение неразрывности потока

$$vS\rho = const$$

