**Гидростатическое давление. Закон Паскаля**

На жидкость, находящуюся в состоянии равновесия, действуют две категории сил: поверхностные и массовые (объемные). К последним относятся: вес, силы инерции, центробежные. Под влиянием этих сил в каждой точке находящейся в равновесии жидкости возникает гидростатическое давление р, величина которого определяется по выражению.





где ΔP - сила давления, действующая на площадку ΔS.

На внешней поверхности жидкости гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали, а в любой точке внутри жидкости его величина не зависит от ориентировки площадки, на которой оно действует. Поверхность, во всех точках которой гидростатическое давление одинаково называется поверхностью равного давления.

К последним относится и свободная поверхность, т. е. поверхность раздела между жидкостью и газообразной средой.

Для любой точки жидкости, находящейся в состоянии равновесия, справедливо равенство.

z+p/γ = z0+p0/γ = ... = H,

где: p - давление в данной точке А (см. рис.); p0 - давление на свободной поверхности жидкости; p/γ и p0/γ -высота столбов жидкости (с удельным весом γ), соответствующая давлениям в рассматриваемой точке и на свободной поверхности; z и z0 - координаты точки А и свободной поверхности жидкости относительно произвольной горизонтальной плоскости сравнения (x0y); H - гидростатический напор. Из вышеприведенной формулы следует:

= p0+γ(z0-z) или p = p0+γ·h

где h - глубина погружения рассматриваемой точки. Приведенные выше выражения называется основным уравнением гидростатики. Величина γ·h представляет вес столбика жидкости высотой h с площадью основания, равной единице.

Таким образом, как это следует из выражения, гидростатическое давление p в данной точке равно сумме давления на свободной поверхности жидкости p0 и давления, производимого столбиком жидкости высотой, равной глубине погружения точки. Согласно этому уравнению, давление на поверхности жидкости p0 передается всем точкам объема жидкости и по всем направлениям одинаково (закон Паскаля).

Гидростатическое давление, как и напряжение, в системе СГС измеряется в дин/см2, в системе МКГСС - кгс/м2, в системе СИ - Па. Кроме того, гидростатическое давление измеряется в кгс/см2, высотой столба жидкости (в м вод. ст., мм рт. ст. и т. д.) и, наконец, в атмосферах физических (атм) и технических (ат) (в гидравлике пока еще преимущественно пользуются последней единицей). Здесь http://www.techgidravlika.ru? приведена программа перевода из одных единиц давления в другие.

Разность между абсолютным давлением p и атмосферным давлением pа называется избыточным давлением и обозначается ризб:

ризб = p - pа или

ризб/γ = (p - pа)/γ = hп

п в этом случае называется пьезометрической высотой, которая является мерой избыточного давления.

На рисунке показан закрытый резервуар с жидкостью, на поверхности которой давление p0. Подключенный к резервуару пьезометр П определяет избыточное давление в точке А.

Абсолютное и избыточное давления, выраженные в атмосферах, обозначаются соответственно ата и ати.

Вакуумметрическое давление, или вакуум, - недостаток давления до атмосферного (дефицит давления), т. е. разность между атмосферным или барометрическим и абсолютным давлением:

рвак = pа - p или

рвак/γ = (pа - p)/γ = hвак

где hвак - вакуумметрическая высота, т. е. показание вакуумметра В, подключенного к резервуару, показанному на рисунке ниже. Вакуум выражается в тех же единицах, что и давление, а также в долях или процентах атмосферы.



Из выражений последних двух выражений следует, что вакуум может изменяться от нуля до атмосферного давления; максимальное значение hвак при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) равно 10,33 м вод. ст.

Гидростатическое давление измеряют в кг на 1 кв. см. Большие давления выражают часто в атмосферах, принимая за 1 атмосферу давление в 76 см столбартути <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%82%D1%83%D1%82%D1%8C>, при температуре 0° под широтой, где ускорение силы тяжести <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8B\_%D1%82%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8> = 0,0635 кг на 1 кв. см = 6,21×106 дин на 1 кв. см. 1 атмосфера = 1,0333 кг на 1 кв. см = 1,0136×106 дин на 1 кв. см для широты Парижа или 1,0132×106 для широты в 45°.

**Уравнение Бернулли**



Это уравнение и есть уравнение Бернулли. Это уравнение является следствием закона сохранения энергии для установившегося течения идеальной жидкости (p - статическое давление, p\*(v\*v)/2 - динамическое давление, pgh - гидростатическое давление).

Динамическое давление связано с движением жидкости и проявляется в том случае, если жидкость при встрече с препятствием теряет скорость (v ->0).

**Свойства гидростатического давления**

Первое свойство. Гидростатическое давление направлено всегда по внутренней нормали к поверхности, на которую оно действует.



Рассмотрим силу гидростатического давления Р, приложенную в точке С под углом к поверхности А-В объема жидкости, находящегося в покое (рис. ). Тогда эту силу можно разложить на две составляющие: нормальную Рп и касательную Рt к поверхности А-В. Касательная составляющая-это равнодействующая сил трения, приходящихся на выделенную поверхность вокруг точки С. Но так как жидкость находится в покое, то силы трения отсутствуют, т. е. Рt =0.

Следовательно, сила гидростатического давления Р в точке С действует лишь в направлении силы Рп, т. е. нормально к поверхности А-В.Причем направлена она только по внутренней нормали. При предположении направления силы гидростатического давления по внешней нормали возникнут растягивающие усилия, что приведет жидкость в движение. А это противоречит условию. Таким образом, сила гидростатического давления всегда сжимающая, т. е. направлена но внутренней нормали.

Второе свойство состоит в том, что в любой точке внутри жидкости давление по всем направлениям одинаково. Иначе это свойство давления звучит так: на любую площадку внутри объёма жидкости, независимо от её угла наклона, действует одинаковое давление.

Докажем второе свойство.



Для доказательства этого свойства выделим в жидкости, находящейся в равновесии, частицу в форме треугольной призмы с основанием в виде прямоугольного треугольника А-В-С. Будем рассматривать этот объём в некоторой произвольной системе координат X,Y,Z. При этом ось у перпендикулярна плоскости. Заменим действие жидкости вне призмы на ее боковые грани гидростатическим давлением соответственно Pх, Pz, Pе.







Кроме этих сил на призму действует сила тяжести dG, равная весу призмы g\*dz\*dx\*dy/2.

Силой тяжестью можно пренебречь. Так как она будет величиной 3-го порядка малости, а силы действующие на грани призмы 2 -го порядка малости.

Так как частица жидкости находится в равновесии, в покое, то сумма проекций всех сил, приложенных к ней, на любое направление равна нулю т.е.

 

 

Подставляя dz=de sina и dx=de cosa в предыдущие уравнения и разделив каждое уравнение dy, получим

 

 

Из выражений следует



Следовательно, гидростатическое давление на наклонную грань Ре одинаково по величине с гидростатическим давлением на вертикальную и горизонтальную грани. Так как угол наклона грани a взят произвольно, то можно утверждать, что гидростатическое давление в любой точке жидкости действует одинаково по всем направлениям.



Третье свойство. Гидростатическое давление в точке зависит только от ее координат в пространстве, т. е.



Это свойство не требует специального доказательства, так как очевидно, что по мере увеличения заглубления точки под вровень давление в ней будет возрастать и, наоборот, по мере уменьшения заглубления - уменьшаться.

Определим теперь величину давления внутри покоящейся жидкости. С этой целью рассмотрим произвольную точку А, находящуюся на глубине ha. Вблизи этой точки выделим элементарную площадку dS. Если жидкость покоится, то и т. А находится в равновесии, что означает уравновешенность сил, действующих на площадку.- произвольная точка в жидкости,- глубина т. А,- давление внешней среды,- плотность жидкости,- давление в т. А,- элементарная площадка.

Сверху на площадку действует внешнее давление P0 (в случае, если свободная поверхность граничит с атмосферой, то ) и вес столба жидкости. Снизу - давление в т. А. Уравнение сил, действующих на площадку, в этих условиях примет вид:

.

Разделив это выражение на dS и учтя, что т. А выбрана произвольно, получим выражение для P в любой точке покоящейся жидкости:

;

где h - глубина жидкости, на которой определяется давление P.

Полученное выражение носит название основного уравнения гидростатики.

**Виды потерь**

Линейные потери напора

Линейные потери напора могут быть рассчитаны по формуле Дарси-Вейсбаха.



Где: l - коэффициент линейного сопротивления, безразмерная величина;- длина трубы или канала, м;- диаметр (гидравлический диаметр), м;- скорость, м/с;- ускорение свободного падения, 9,8 м/с2.

Местные потери напора

В качестве примера местного сопротивления рассмотрим внезапное расширение трубы. В местах завихрений происходит интенсивное перемешивание, соприкасаются слои жидкости, имеющие разные скорости, а, следовательно, появляются силы трения. Работа сил трения в этом месте приводит к потерям энергии.

В этом месте происходит интенсивное перемешивание и силы трения совершают работу, приводящую к потерям напора



Аналогичные явления возникают и при прохождении жидкости через повороты, вентили, задвижки и т.д. Механизм появления потерь подсказывает и способы снижения потерь. Плавное изменение скорости по величине и направлению может снизить эти потери в десятки раз.

Как отмечалось выше, для расчета местных потерь используется другая зависимость



Формула аналогична формуле Дарси-Вейсбаха <http://apeshnik.narod.ru/Gidravlika/gidrodin/gdn7.htm>. Отличие формулы в первой ее части. Появилась сумма коэффициентов местного сопротивления Sx. гидростатический давление вакуум бернулли

**Давление жидкости на плоскую стенку. Центр давления**

Если твердая плоская стенка АВ с одной стороны соприкасается с жидкостью, а с другой находится под воздействием атмосферного давления, то величина равнодействующей силы давления жидкости (с учетом внешнего атмосферного давления) на смоченную часть твердой поверхности равна:



Р =g hcп  = pс ,

где hсп - расстояние от пьезометрической поверхности до центра тяжести С смоченной части стенки; рс - избыточное давление в центре тяжести, w - площадь смоченной поверхности АВ.

Точка приложения равнодействующей сил давления называется центром давления. Она определяется как:



где - момент инерции плоской смоченной фигуры относительно горизонтальной оси (табл.), проходящей через ее центр тяжести; yD , ус - расстояния до центров давления и тяжести, измеряемые вдоль продольной оси симметрии (или ее продолжения) фигуры от пьезометрической поверхности.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Фигура | Положение центра тяжести | Площадь, Момент инерции (Jxx=Jc) |  |
| Равнобедренный треугольник | от основания |  |  |  |
| Прямоугольник |  от основанияbh |  |  |  |
| Равнобедренная трапеция |  |  |  |  |
| Круг | В центре круга |  |  |  |
| Круговое кольцо | В центре кольца |  |  |  |



Эпюра давления

Графики, изображающие изменение величины гидростатического давления по контуру тела, соприкасающегося с жидкостью, называются эпюрами гидростатического давления. Анализируя основное уравнение гидростатики (p = p0 +ρgh) приходим к выводу, что распределение давления по стенке АВ линейно зависит от величины h. При этом надо помнить, что в любой точке эпюры давление направлено по нормали к поверхности стенки.