

Лекция 11.

Тема: Гидростатика и аэростатика.

Давление в жидкостях и газах. Атмосферное давление. Закон Паскаля и его применение. Гидростатическое давление. Закон Архимеда. Условие плавания тел.

В гидростатике изучается равновесие жидкости и воздействие покоящейся жидкости на погруженные в нее тела.

Для оценки условия равновесия частиц внутри жидкости пользуются величиной, которая называется *давление*. *Давлением* называется величина $p = \frac{F}{S}$, где F - сила, действующая перпендикулярно выделенной площадке, площадью S . Единица давления в системе СИ – паскаль (Па). $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Закон Паскаля: *давление производимое внешними силами на поверхность жидкости передается жидкостью одинаково во всех направлениях.*

На законе Паскаля основано действие многих гидравлических устройств: прессов, домкратов, гидроусилителей, тормозных систем автомобиля и др.

Давление внутри жидкости на глубине h вычисляется по формуле: $p = p_0 + \rho gh$, p_0 -давление производимое внешними силами на поверхность жидкости и ρgh -давление, обусловленное весом столба жидкости. Это полное давление называется гидростатическим. Сила весового давления ρghS может не совпадать с весом налитой в сосуд жидкости – это называется гидростатическим парадоксом.

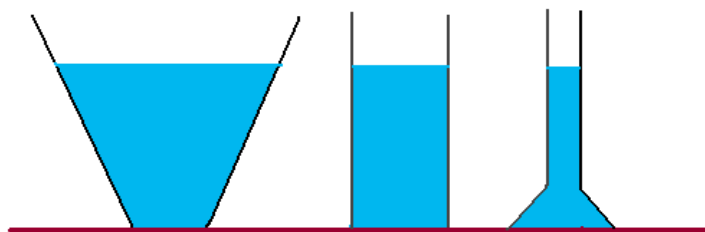


Рис. 1.

Давление во всех трех сосудах (рис.1) с одинаковой площадью дна будет одинакова, несмотря на то, что в них налита разное количество жидкости. То есть давление столба жидкости зависит только от высоты столба жидкости и ее плотности. Объясняется гидростатический парадокс тем, что сила давления жидкости на

наклонные стенки имеет вертикальную составляющую, направленную вверх в расширяющемся сосуде и вниз в суживающемся. Впервые гидростатический парадокс продемонстрировал Паскаль, разорвав огромную бочку, заполненную водой, с помощью одной дополнительной кружки воды. Правда вода из кружки вливалась в бочку по тонкой 4-х метровой трубке, тем самым создается сила давления на стенки в несколько тысяч ньютонов.

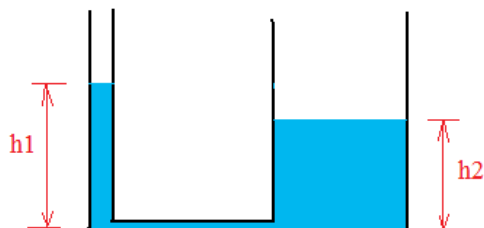


Рис.2.

Сообщающиеся сосуды. Рассмотрим сосуды, соединенные между собой в нижней части (рис.2.). Если сосуды заполнены различными несмешивающимися жидкостями, то из условия равенства давлений $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$ вытекает: $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Это выражение называется законом сообщающихся сосудов. Если жидкость одна, то высоты столбов естественно

одинаковы. На этом принципе основана работа речных шлюзов.

Гидравлический пресс. Гидравлический пресс состоит из двух сообщающихся цилиндров разного диаметра закрытых подвижными поршнями. Если приложить к малому поршню силу F_1 , то давление под поршнем составит $p = F_1/S_1$. Чтобы уравновесить это давление необходимо приложить к большему поршню силу $F_2 = p \cdot S_2$. Из равенства давлений вытекает

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}, \text{ то есть данное устройство дает выигрыш в силе во}$$

столько раз, во сколько отличаются площади поршней.

Широкое применение это нашло в гидравлических домкратах.

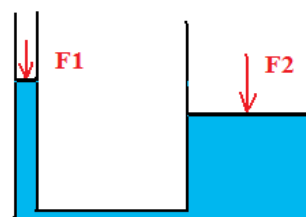


Рис. 3

Атмосферное давление. Атмосферное давление объясняется силой тяжести, действующей на вышележащие слои воздуха. Классический опыт демонстрирующий силу атмосферного давления произведен в 1654 г. Отто фон Герике в Магдебурге. Он откачал воздух из двух полушарий, которые потом не смогли разорвать две упряжки лошадей. Измерение атмосферного давления впервые было осуществлено в 1643 году по предложению итальянского физика Торричелли с помощью стеклянной метровой трубки, заполненной ртутью. Атмосферное давление соответствовало в этом опыте 760 мм ртутного столба. В настоящее время для измерения давления используются безжидкостный барометр-анероид.

Закон Архимеда.

Рассмотрим силы, действующие на погруженное в жидкость тело (рис.4). Пусть S –

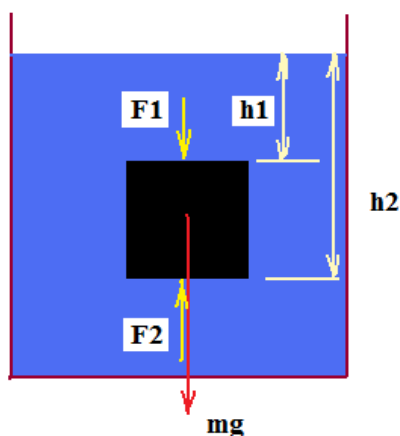


Рис.4.

площадь основания данного тела. Тогда сверху и снизу действуют силы гидростатического давления $(p_0 + \rho g h_1)S$ и $(p_0 + \rho g h_2)S$ соответственно. Разница этих сил создает выталкивающую силу (архимедову силу) $F_a = \rho g (h_2 - h_1)S$ или $F_a = \rho g V$. Данные рассуждения можно произвести и для тела неправильной формы. Для этого его необходимо разбить на элементарные вертикальные цилиндрики и просуммировать выталкивающие силы. Мы получили **закон Архимеда:** *На тело, погруженное в неподвижную жидкость или газ действует выталкивающая сила, модуль которой равен весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела и приложена в центре тяжести объема погруженной части.*

$$\vec{F} = -\rho_{\text{ж}} V \vec{g}.$$

Условия плавания тел вытекает из условия равновесия: сила архимеда = силе тяжести, действующей на тело.

Пример1. Рассмотрим случай, когда жидкость движется с ускорением. Сосуд с водой, плотностью ρ , движется горизонтально с ускорением a . Ко дну сосуда на невесомой нити прикреплен деревянный шарик массой m и объемом V . Определите силу натяжения нити (см.рис.5).

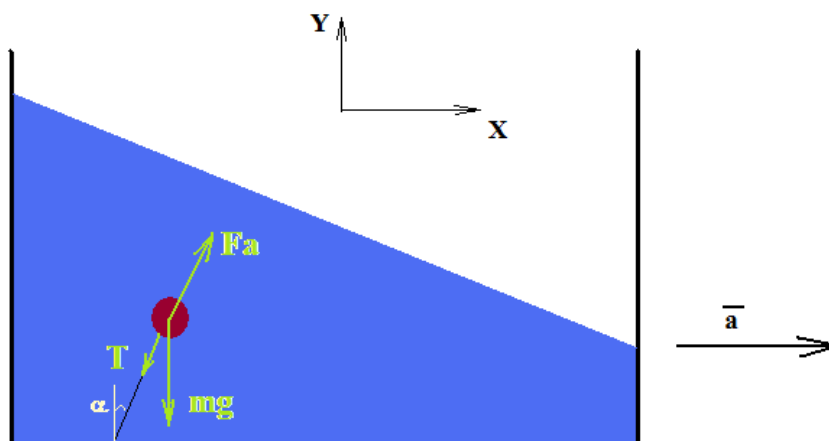


Рис.5.

Решение. На шарик действуют только три силы: сила тяжести, архимедова сила, сила натяжения нити. Для определения значения силы архимеда в этом случае заменим шарик таким же объемом воды. Вода будет находиться в равновесии и нить не понадобится.

Условие равновесия: $\vec{F}_a + m\vec{g} = 0$. Спроектируем по осям:

X: $F_{ax} = ma$

Y: $F_{ay} - mg = 0$

Так как $m = \rho V$, то $F_{ax} = \rho V a$, а $F_{ay} = \rho V g$. Модуль архимедовой силы: $F_a = \rho V \sqrt{g^2 + a^2}$.

Сила архимеда должна быть перпендикулярна поверхности жидкости, в противном случае на одной глубине возникнет разность гидростатических давлений, что противоречит

условию равновесия. Угол наклона жидкости: $\tan \alpha = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}$.

Вернем шарик на место и напишем второй закон Ньютона:

X: $F_{ax} - T \sin \alpha = ma$

Y: $F_{ay} - T \cos \alpha - mg = 0$

Подставляя проекции архимедовой силы: $\rho V a - T \sin \alpha = ma$ и $\rho V g - T \cos \alpha - mg = 0$

Из этой системы выражаем T:
$$T = (\rho V - m) \sqrt{g^2 + a^2}$$