

## Тема 20. Движение идеальной жидкости

Жидкости легко изменяют свою форму, но сопротивляются изменению объёма. При увеличении давления жидкость лишь незначительно изменяет свой объём, поэтому можно считать, что плотность жидкости не изменяется, а, следовательно, жидкость в большинстве случаев можно считать абсолютно несжимаемой.

Идеальная жидкость – это модель жидкости, в которой отсутствует вязкость (нет внутреннего и внешнего трения) и теплопроводность. Внутреннее трение – это трение между перемещающимися относительно друг друга слоями жидкости. Внешнее трение – это трение между жидкостью и ограничивающей поверхностью.

Виды течения жидкости: стационарное, ламинарное, турбулентное.

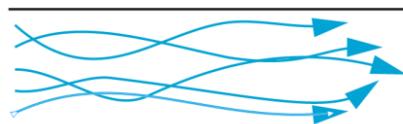
Стационарное течение – это установившееся течение, при котором значения давления и скорости в каждой точке потока не зависят от времени.

Ламинарное течение – это течение, при котором линии тока параллельны друг другу (рисунок 20.1 а).

Турбулентное течение – это течение, при котором линии тока изменяют свое направление (рисунок 20.1 б).



а)



б)

Рисунок 20.1 – Ламинарное (а) и турбулентное (б) течение

Для любых двух сечений  $S_1$  и  $S_2$  подвижной несжимаемой жидкости, площадки которых перпендикулярны вектору скорости, выполняется равенство:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2 = \text{const},$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – это скорости потока через сечения  $S_1$  и  $S_2$  (рисунок 20.2),  $Sv$  – объемная скорость или объемный расход движущейся жидкости.

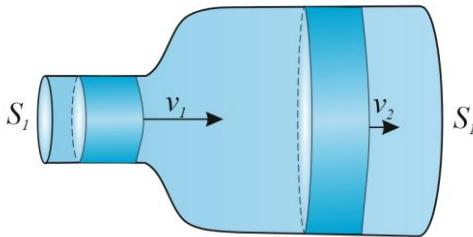


Рисунок 20.2 – Уравнение неразрывности жидкости

Это уравнение неразрывности жидкости, из которого следует, что из более широкой трубы жидкость будет вытекать медленнее, чем из узкой.

Масса жидкости, которая проходит через поперечное сечение потока в единицу времени определяется по формуле:

$$G = \rho S v,$$

где  $G$  – массовый расход жидкости (кг/с),

$\rho$  – плотность жидкости (кг/м<sup>3</sup>),

$S$  – поперечное сечение потока (м<sup>2</sup>),

$v$  – средняя скорость потока по сечению  $S$  (м/с).

### Уравнение Бернулли

Для потока идеальной жидкости справедливо равенство:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2,$$

или  $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g h = \text{const}$

где  $p$  – это статическое давление (давление жидкости на поверхность обтекаемого тела), его можно измерить манометром, который движется вместе с жидкостью,

$\frac{\rho v^2}{2}$  – динамическое давление, которое объясняется движением жидкости,

$\rho g h$  – гидростатическое давление (рисунок 20.3).

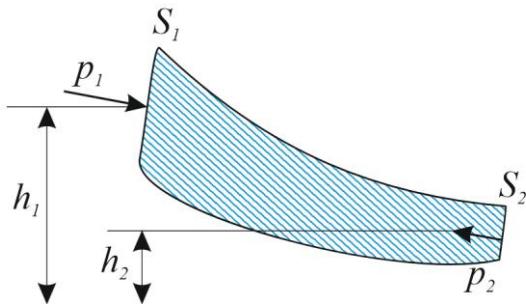


Рисунок 20.3 – К уравнению Бернулли

Если трубка тока расположена горизонтально, то  $h_1 = h_2$  и уравнение Бернулли примет вид:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const},$$

где  $p + \frac{\rho v^2}{2} = p_0$  – это полное давление (рисунок 20.4).

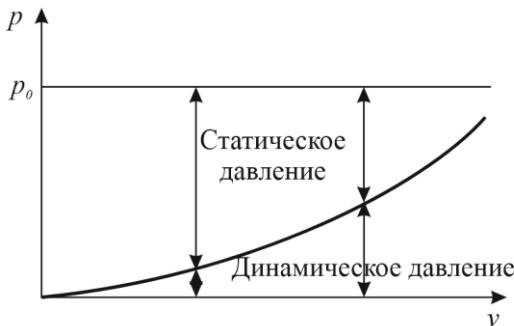


Рисунок 20.4 – Полное давление

Уравнение Бернулли является выражением закона сохранения энергии для установившегося течения идеальной жидкости.

### *Медицинский шприц*

Уравнение Бернулли дает возможность рассчитать скорость течения жидкости из медицинского шприца (рисунок 20.5):

$$\frac{F}{S_0} + \frac{\rho v_0^2}{2} = \frac{\rho v^2}{2},$$

где  $F$  – внешняя сила,

$S_0$  – площадь поршня,

$v_0$  – скорость поршня и жидкости рядом с ним,  
 $v$  – скорость течения жидкости из иглы.

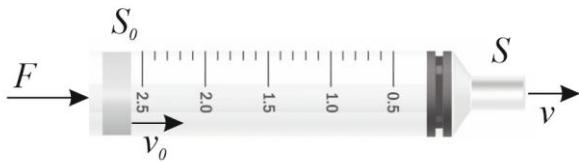


Рисунок 20.5 – Скорость истечения жидкости из медицинского шприца

Из уравнения неразрывности струи жидкости следует, что

$$S_0 v_0 = S v \Rightarrow v_0 = \frac{S}{S_0} v \Rightarrow \frac{F}{S_0} = \frac{1}{2} \rho v^2 \left[ 1 - \left( \frac{S}{S_0} \right)^2 \right]$$

Площадь иглы много меньше площади поршня ( $S \ll S_0$ ), следовательно,

$$\frac{F}{S_0} = \frac{1}{2} \rho v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2F}{\rho S_0}},$$

где  $v$  – скорость истечения жидкости из иглы.

Скорость истечения жидкости из бокового или донного отверстия равна скорости свободного падения жидкости с высоты  $h$  (рисунок 20.6):

$$v = \sqrt{2gh}$$

Это формула Торричелли.

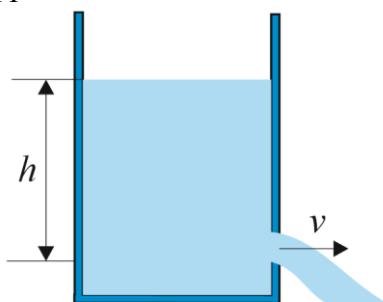


Рисунок 20.6 – К формуле Торричелли