

Тема 21. Динамическая и кинематическая вязкость

Рассмотрим несжимаемую жидкость, которая движется по гладкой трубе. Скорость частиц жидкости будет одинаковой в любом месте жидкости (любом сечении потока) и линии тока будут параллельны (рисунок 21.1 а). Если в трубе появляется препятствие, то линии тока изменятся, как на рисунке 21.1 б и 21.1 в скорость частиц потока у препятствий будет выше, чем у основного потока.

При движении по трубе реальной жидкости скорость частиц потока на границе труба-жидкость практически равна нулю за счет прилипания тонкого слоя жидкости к стенке трубы. Поэтому скорость частиц потока максимальна в середине трубы и минимальна (0) на границе трубы: возникает градиент скорости потока частиц $\frac{dv}{dz}$ (рисунок 21.1 г).

Сила внутреннего (вязкого) трения определяется формулой Ньютона:

$$F_{\text{тр}} = \eta \frac{dv}{dz} S,$$

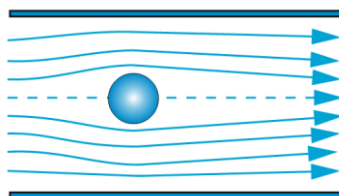
где η – коэффициент внутреннего трения или динамическая вязкость (Па · с),

S – площадь взаимодействующих слоев,

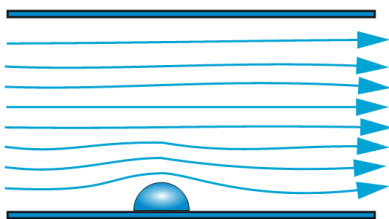
$\frac{dv}{dz}$ – градиент скорости.



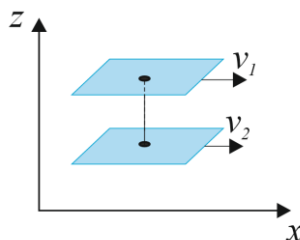
а)



б)



в)



г)

Рисунок 21.1 – Движение жидкости по трубе

Коэффициент вязкости η – это основная величина, которая характеризует вязкие свойства жидкости и газа. η зависит от вида жидкости, формы молекул и температуры: при увеличении температуры коэффициент вязкости жидкости уменьшается, а у газов увеличивается.

Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости к плотности жидкости:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}.$$

Единица кинематической вязкости – стокс [$1 \text{ Ст} = 1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$].

Вязкость некоторых веществ представлена в таблице 7.

Таблица 7. Вязкость вещества

Вещество	Температура Т, °С	Вязкость η , мПа·с
Воздух	20	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Вода	20	1
Кровь артериальная	36	4,5
Кровь венозная	36	5
Плазма	36	1,5

Если скорость движения тела относительно жидкости небольшая, то сила сопротивления определяется по закону Стокса. Для шара:

$$F_{\text{тр}} = 6\pi\eta r\nu,$$

где 6π – коэффициент, который соответствует шару,

η – вязкость вещества,

r – средний радиус тела,

ν – относительная скорость тела.

Характер течения жидкости определяется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho r \nu}{\eta},$$

где ρ – плотность жидкости.

Критическое число Рейнольдса для жидкости в длинных трубках $Re_{\text{кр}}=2000-2300$.

Ламинарное течение характеризуется $Re < Re_{\text{кр}}$ и скорость течения считается малой ($F_{\text{тр}} \sim \nu$).

Турбулентное течение характеризуется $Re > Re_{\text{кр}}$ и скорость течения можно считать большой ($F_{\text{тр}} \sim \nu^2$).