

The Ideal Fluid(Liquid)

Viscosity of a Liquid

Laminar and Turbulent Flow

Learning Objectives:

1. Describe an ideal liquid (fluid);
2. Define steady and turbulent flow;
3. Use the equation of continuity to solve problems:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ or } v_2/v_1 = S_1/S_2$$

where v is velocity of flow



- mass flow rate (units kg/s):

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = D \cdot A \cdot v$$

- volume flow rate (units m³/s):

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = A \cdot v$$

Reynolds number/Число Рейнольдса

The nature of the motion of the gas (liquid) is determined by the dimensionless (without unit of measure) Reynolds number/Характер движения газа (жидкости) определяется безразмерным **числом Рейнольдса**

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{Dv}{\nu}$$

D - величина, которая характеризует линейные размеры тела, обтекаемого жидкостью (газом).

v – speed/velocity

ρ – density/плотность газа (жидкости).

η- viscosity

Числа Рейнольдса определяется следующим соотношением:

$$\text{Re} = \frac{\rho v D_{\Gamma}}{\eta} = \frac{v D_{\Gamma}}{\nu} = \frac{Q D_{\Gamma}}{\nu A},$$

где

- ρ — плотность среды, кг/м³;
- v — характерная скорость, м/с;
- D_{Γ} — гидравлический диаметр, м;
- η — динамическая вязкость среды, Па·с или кг/(м·с);
- ν — кинематическая вязкость среды, м²/с ($\nu = \frac{\eta}{\rho}$);
- Q — объёмная скорость потока;
- A — площадь сечения трубы.

Числа Рейнольдса определяется следующим соотношением:

$$Re = \frac{\rho v D_{\Gamma}}{\eta} = \frac{v D_{\Gamma}}{\nu} = \frac{Q D_{\Gamma}}{\nu A};$$

где

- ρ — плотность среды, кг/м³;
- v — характерная скорость, м/с;
- D — гидравлический диаметр, м;
- η — динамическая вязкость среды, Па·с или кг/(м·с);
- ν — кинематическая вязкость среды, м²/с ();
- Q — объёмная скорость потока;
- S — площадь сечения трубы.

Newtonian Fluid Reynolds

Number (Re) Formula

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

μ – fluid dynamic viscosity in $kg/(m \cdot s)$

ρ – fluid density in kg/m^3

V – fluid velocity in m/s

D – pipe diameter in m

REYNOLDS NUMBER

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. Laminar Flow | $Re < 2000$ |
| 2. Unstable Flow | $2000 < Re < 4000$ |
| 3. Turblent Flow | $Re > 4000$ |

Normally $Re > 4000$ for flow in most piping systems.

$$Re = \frac{V D}{\gamma}$$

Where

D = Inside diameter (ft)

V = Velocity (ft/sec)

γ = Kinematics viscosity (ft²/sec)

Re = Reynolds Number (dimensionless)

Types Of Flows Based On Reynold Number:-

- If Reynold number, $R_N < 2000$ the flow is **laminar flow**.
- If Reynold number, $R_N > 4000$ the flow is **turbulent flow**.

$$N_{re} = \frac{D.V.\rho}{\mu}$$

N_{re} = Reynolds Number
 μ = Viscosity

$N_{re} < 2100$ Flow is laminar

$2100 < N_{re} < 4000$ Flow is in transition

$N_{re} > 4000$ Flow is turbulent

Число Рейнольдса

Один тип движения может переходить в другой, например, просто при изменении скорости течения. Влияют на этот переход и другие параметры. Английский физик **Рейнольдс** установил, что характер движения зависит от безразмерной величины:

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

где ρ – плотность жидкости, v – средняя по сечению трубы скорость потока, η – вязкость жидкости, l – усредненный характерный для поперечного сечения потока размер (для трубы диаметр). Величина Re называется **числом Рейнольдса**. Проще: **критерий подобия** для течения вязких жидкостей и газов. Чем больше вязкость тем Re меньше! **Это не константа для данной жидкости!** Зависит от условий температуры, размера и т.д.

$$Re = \rho_{\text{ж}} v D / \eta,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости; η — ее вязкость; D — диаметр трубы; v — скорость течения.

Если число Рейнольдса больше некоторого критического ($Re > Re_{\text{кр}}$), то движение жидкости турбулентное. Например, для гладких цилиндрических труб $Re_{\text{кр}} \approx 2300$.

Так как число Рейнольдса зависит от вязкости и плотности жидкости, удобно ввести их отношение, называемое *кинематической вязкостью*:

$$\nu = \eta / \rho_{\text{ж}}$$

Используя это понятие, число Рейнольдса можно выразить в виде

$$Re = v D / \nu. \quad (9.17)$$

Единицей кинематической вязкости является *квадратный метр на секунду* ($\text{м}^2/\text{с}$), в системе СГС — *стокс* (Ст); соотношение между ними: $1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.