


**МЕХАНИКА  
ЖИДКОСТИ И  
ГАЗА**



# I. Основные понятия и определения

# Механика жидкости и газа

Изучает вопросы, связанные с механическим движением жидкости в различных природных и техногенных условиях.

Гидростатика

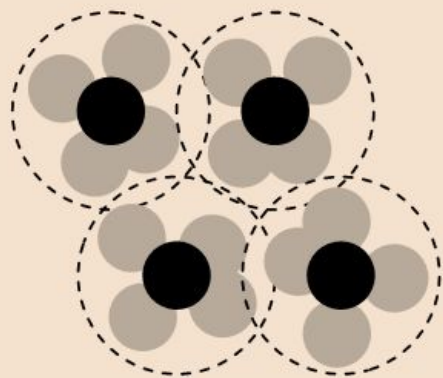
Учение о  
равновесии  
жидкостей

Кинематика

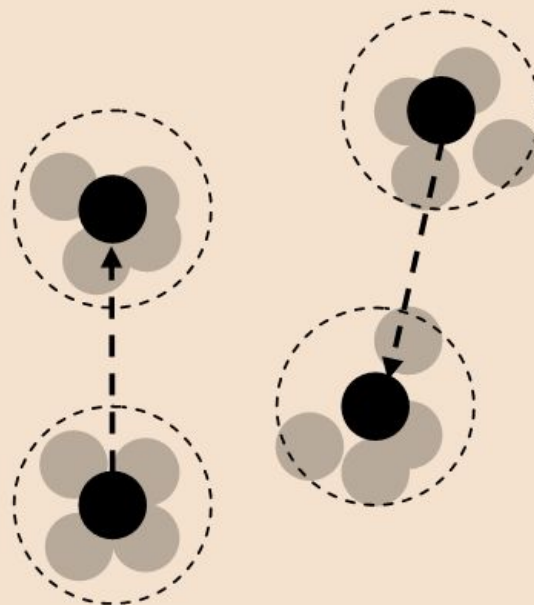
Описывает  
основные  
элементы  
движущейся  
жидкости

Гидродинамик  
а

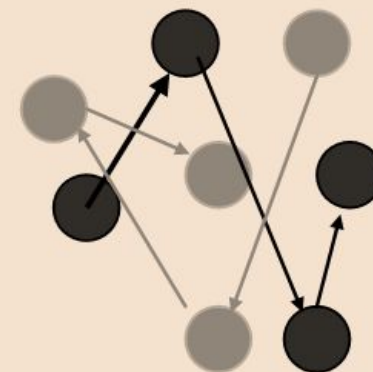
Учение о  
движении  
жидкостей



*Твёрдые тела*



*Жидкости*



*Газы*

Тепловое движение молекул твердых тел состоит в колебаниях относительно стабильных центров

движение осуществляется в виде колебаний относительно мгновенных центров и скачкообразных переходов от одного центра к другому.

Тепловое движение молекул газа выглядит, как непрерывные скачкообразные перемены мест.

при **повышении температуры** и **уменьшении давления** свойства жидкостей приближаются к свойствам *газов*, а при понижении температуры и увеличении давления – к свойствам *твёрдых тел*.

# ЖИДКОСТИ

- физические тела, которые легко изменяют свою форму под действием приложенных сил.

## Капельные



характеризуются малой сжимаемостью и относительно небольшим изменением объема при изменении температуры.

## Газообразные



существенно изменяют свой объем при воздействии сжимающих сил и изменении температуры.

Для решения задач гидравлики используют понятие **об идеальной ЖИДКОСТИ**

**Идеальная жидкость** - модель природной жидкости, характеризующаяся *изотропностью* всех физических свойств и, кроме того, характеризуется абсолютной *несжимаемостью*, абсолютной *текучестью* (отсутствие сил внутреннего трения), отсутствием процессов *теплопроводности и теплопереноса*.

**Реальная жидкость** - модель природной жидкости, характеризующаяся изотропностью всех физических свойств, но в отличие от идеальной модели, *обладает внутренним трением* при движении.

абстрактные  
модели  
жидкостей и  
газов

**Идеальный газ** - модель, характеризующаяся изотропностью всех физических свойств *и абсолютной сжимаемостью*.

**Реальный газ**- модель, при которой на сжимаемость газа при условиях близких к нормальным условиям существенно влияют силы взаимодействия между молекулами.



**Силы, действующие на жидкость**

**Внешние**

**Поверхностные**

сила поверхностного натяжения

сила давления на свободную поверхность

силы реакции стенок сосуда

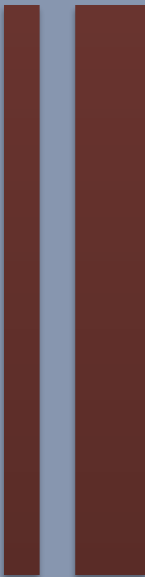

**Объемные**

сила тяжести

центробежная сила

**Внутренние**

Силы межмолекулярного взаимодействия

Two vertical dark red bars of different widths are positioned to the left of the main title.A large dark red arrow pointing to the right, containing the title text.

## II. Физические свойства жидкостей



## 1. Плотность

масса жидкости,  
заклученная в  
единице ее объема.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

кг/м<sup>3</sup> (СИ)

Все жидкости, кроме воды,  
характеризуются уменьшением плотности  
с ростом температуры.

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t (T - T_0)}$$

Зависимость величины  
плотности жидкости и газа при  
температуре отличной от 20 °С  
определяется по формуле Д.И.  
Менделеева

## 2. Удельный вес

вес единицы объема  
жидкости

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

Н/м<sup>3</sup> (СИ)

$$G = mg$$

$$\gamma = \rho g$$

**Газообразные жидкости** имеют меньшую плотность по сравнению с капельными, при этом имеется сильная зависимость плотности от температуры и давления.

Для идеальных газов, подчиняющихся законам Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, зависимость между температурой, плотностью и давлением определяется уравнением состояния Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

$$p = \frac{\rho}{M} RT$$

$$pv = \frac{RT}{M}$$

При изменении давления и температуры  
объем и плотность газа рассчитывают  
по следующим соотношениям:

$$V = V_0 \frac{p_0}{T_0} \cdot \frac{T}{p} \qquad \rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{p_0} \cdot \frac{p}{T}$$

При нормальных условиях плотность газа  
определяется из уравнения:

$$\rho_0 = M \frac{p}{RT} = M \cdot \frac{101300}{8314 \cdot 273} = \frac{M}{22,4}$$

**Число  
Авогадро**

### 3. Сжимаемость

жидкостей  
характеризуется  
коэффициентом

сжимаемости

который равен отношению  
изменения относительного  
объема жидкости к изменению

$$\beta_V = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

м<sup>2</sup>/Н (СИ)

### 4. Модуль упругости

– величина, обратная  
коэффициенту  
сжимаемости.

$$K = \frac{1}{\beta}$$

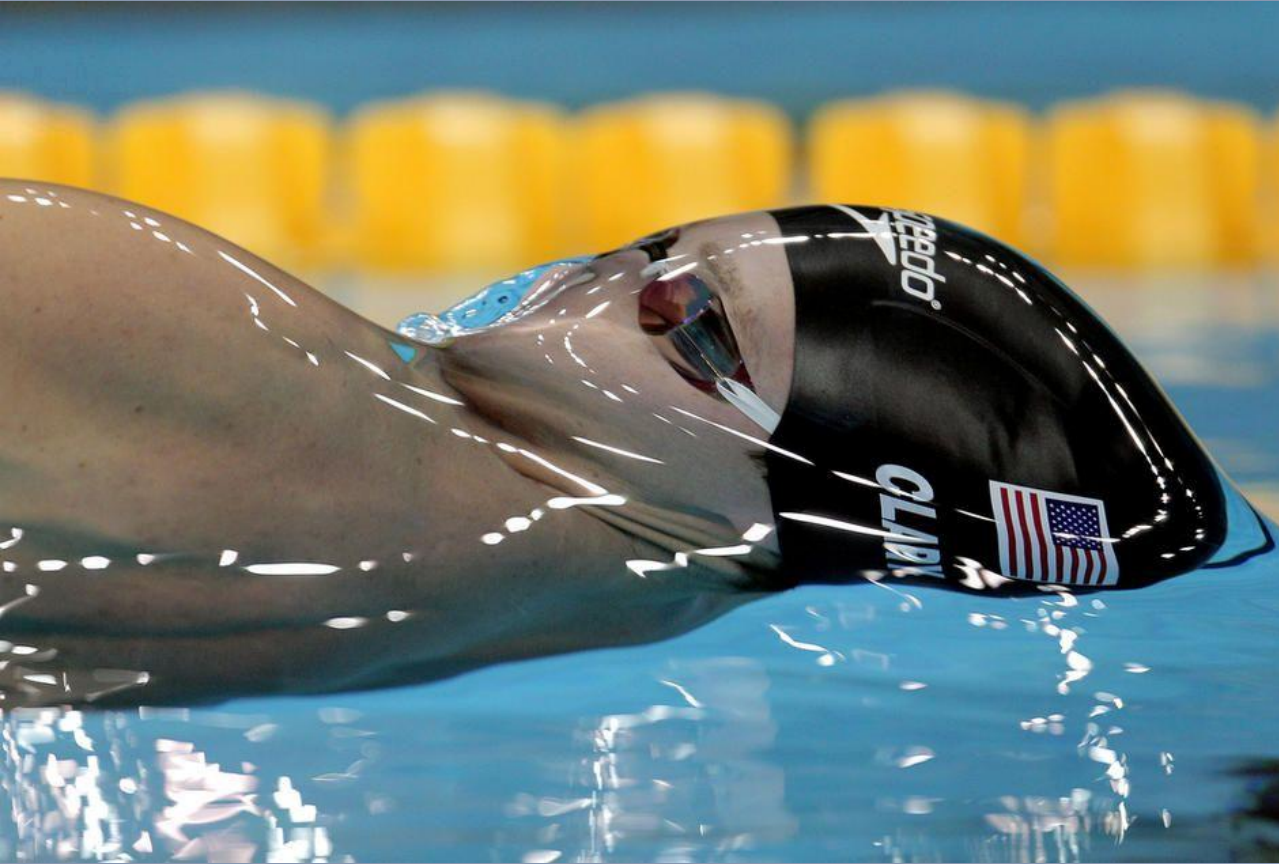
### 5. Температурное расширение

характеризуется коэффициентом температурного  
расширения.

$$\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

град<sup>-1</sup> (СИ)

## 6. Поверхностное натяжение



Молекулы жидкости, расположенные на ее поверхности испытывают притяжение со стороны молекул, находящихся внутри жидкости, в результате чего возникает давление, направленное внутрь жидкости перпендикулярно ее поверхности.

Действие этих сил проявляется в стремлении жидкости уменьшить свою поверхность; на создание новой поверхности требуется затратить некоторую работу

**Поверхностным натяжением** жидкости  $\sigma$  называют работу, которую надо затратить для образования единицы новой поверхности жидкости при постоянной температуре

Размерность поверхностного натяжения в

$$[\sigma] = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \right] \stackrel{\text{СИ}}{=} \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$$

при увеличении температуры внутренняя энергия молекул возрастает и, естественно, уменьшается напряжение в пограничном слое жидкости и, следовательно, уменьшаются силы поверхностного натяжения.

## 7. Вязкость

является результатом действия трения между соприкасающимися слоями жидкости, вследствие чего эти слои движутся с различными скоростями.

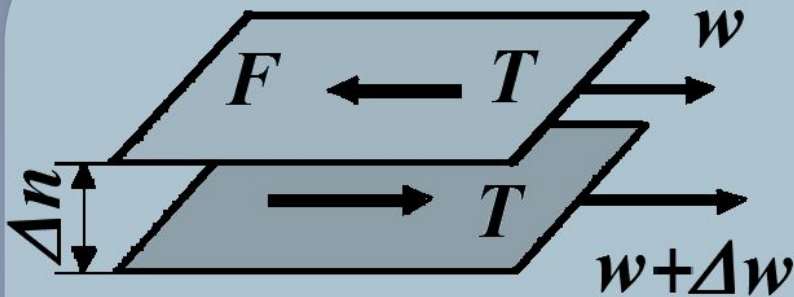


Для расчета силы трения обычно используют **закон Ньютона**. Этот закон обобщенно характеризует механические свойства сплошных сред и распространяется на воду, воздух, спирты и многие другие жидкости и газы.

**Вязкостью** называется свойство жидкости оказывать сопротивление ее движению, т.е. взаимному перемещению ее частиц.

$$T_{\text{тр}} = \tau F$$

Напряжения, возникающие при деформации сдвига согласно гипотезе Ньютона пропорциональны градиенту скорости в движущихся слоях жидкости, а сила трения между слоями движущейся жидкости будет пропорциональна площади поверхности движущихся слоев жидкости:



$F$  - площадь слоя

$\Delta n$  - расстояние между слоями

$T$  - приложенная сила

$w$  - скорость движения слоя жидкости

**Ньютоновскими** называются жидкости, удовлетворяющие обобщенному закону Ньютона:

$\tau$  - касательные напряжения, возникающие в жидкости при деформации сдвига

$$\tau = -\mu \cdot \frac{\Delta w}{\Delta n}$$

**Динамический коэффициент вязкости**



## Единицы измерения вязкости

μ:

$$[\text{Па} \cdot \text{с}] = \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} \right]$$

$$[\text{П}] = \left[ \frac{\text{дина} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} \right] = \left[ \frac{\text{г} \cdot \text{см}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}}{\text{см}^2} \right] = \left[ \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{с}} \right]$$

Соотношение между Па·с и П:

$$1 \text{Па} \cdot \text{с} = 10 \text{П}$$

# Кинематический коэффициент вязкости или кинематическая

ВЯЗКОСТЬ  $\nu$ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Единицы измерения кинематической вязкости :

$$[\nu] = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$[\nu] = \text{стокс (СТ)} = 1 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$$

$$1 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 10^4 \text{ СТ}$$

$$1 \text{ сСт} = 0,01 \text{ СТ}$$

Вязкость жидкостей с повышением температуры уменьшается, вязкость газов – увеличивается.

Различное влияние температуры на вязкость капельных жидкостей и газов обусловлена тем, что

вязкость *газов* имеет молекулярно-кинетическую природу

вязкость *капельных жидкостей* в основном зависит от сил сцепления между молекулами

**Динамический коэффициент вязкости для газов при температурах, отличных от 0 °С, рассчитывают по формуле:**

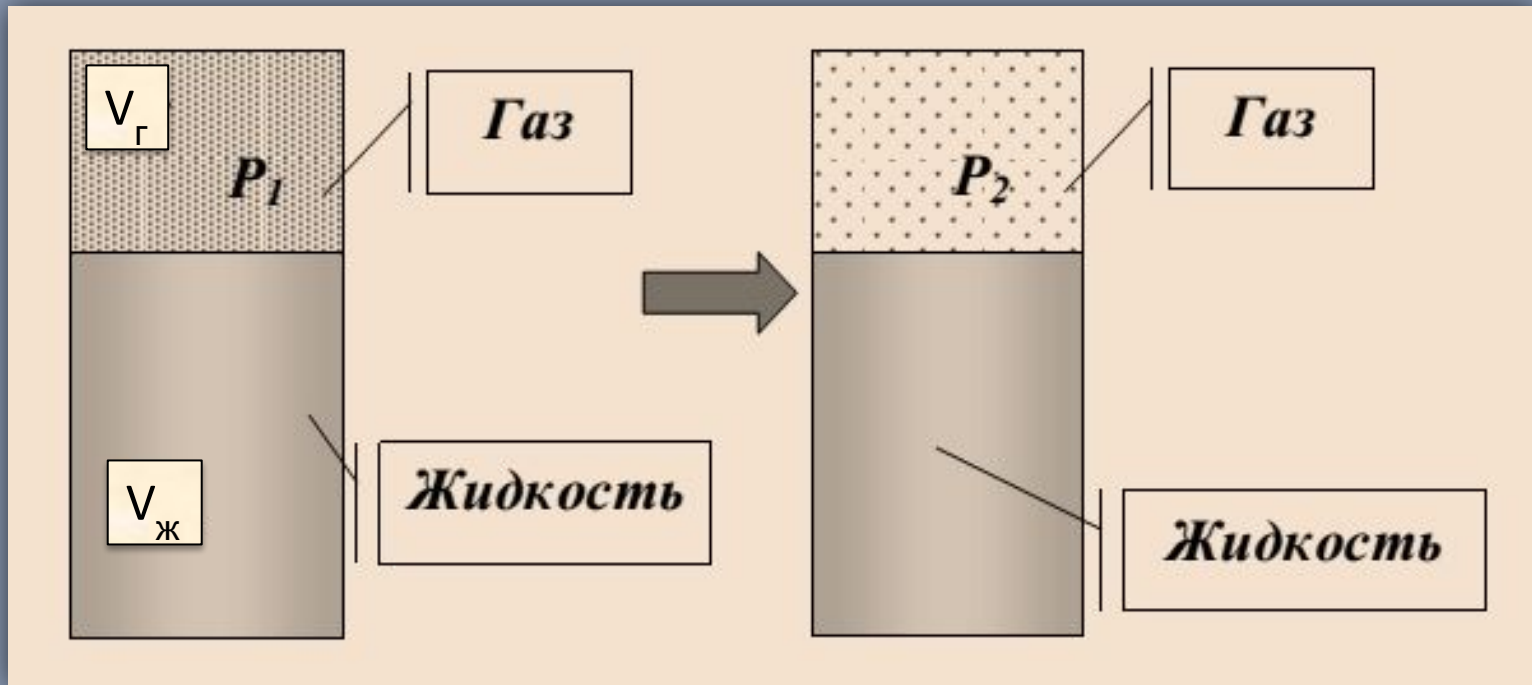
$$\mu_t = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}$$

**Для чистой воды зависимость динамической вязкости от температуры, имеет вид:**

$$\mu = \mu_0 (1 + 0,0337t + 0,000221 \cdot t^2)^{-1}$$

## 8. Растворение газов-

способность жидкости поглощать (растворять) газы, находящиеся в соприкосновении с ней. Это свойство характеризуется коэффициентом растворимости  $k_p$



Если в закрытом сосуде жидкость находится в контакте с газом при давлении  $P_1$ , то газ начнёт растворяться в жидкости. Через какое-то время произойдёт насыщение жидкости газом и давление в сосуде изменится

$$\frac{V_{\Gamma}}{V_{\text{ж}}} = k_{\text{P}} \frac{p_2}{p_1}$$

Коэффициент растворимости связывает изменение давления в сосуде с объёмом растворённого газа и объёмом жидкости следующим соотношением

где  $V_{\Gamma}$  – объём растворённого газа при нормальных условиях,  
 $V_{\text{ж}}$  – объём жидкости,  
 $P_1$  и  $P_2$  – начальное и конечное давление газа.

Коэффициент растворимости зависит от типа жидкости, газа и температуры.

## 9. Кипение -

способность жидкости переходить в газообразное состояние.

Иначе это свойство жидкостей называют

испаряемостью

Жидкость  
можно  
довести до  
кипения

повышением температуры до значений, больших температуры кипения при данном давлении

понижением давления до значений, меньших давления насыщенных паров жидкости при данной температуре.

Жидкость, из которой удален растворенный в ней газ, называется **дегазированной**. В такой жидкости, кипение не возникает и при температуре, большей температуры кипения при данном давлении.