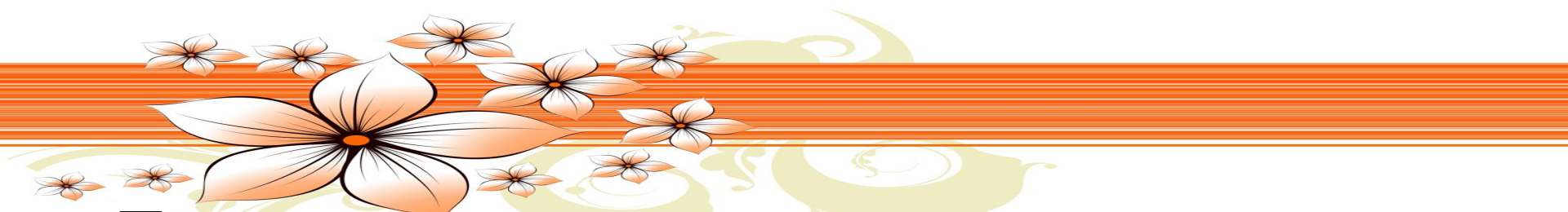


**Гидромеханические  
процессы  
и  
аппараты**

# Гидромеханика

наука, изучающая  
равновесие и движение  
жидкости, а также  
взаимодействие между  
жидкостью и твердыми  
частицами, погруженными в  
жидкость.

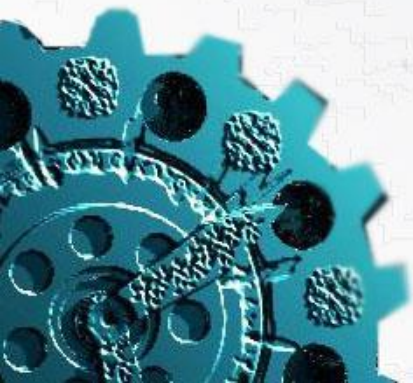


# **Гидромеханические процессы химической технологии можно разделить:**

1. Процессы перемещения потоков в трубопроводах и аппаратах;
2. Процессы, протекающие с разделением неоднородных систем (осаждение, классификация, фильтрование, центрифугирование);



3. процессы, протекающие  
с образованием  
неоднородных систем  
(перемешивание,  
псевдооживление и др.).



Законы **гидромеханики** и их  
практические приложения  
изучают в **гидравлике**.

**Гидравлика** СОСТОИТ ИЗ  
**гидростатики** и  
**гидродинамики**.

**В гидростатике** изучают  
законы равновесия  
жидкостей и газов,  
**В гидродинамике** —  
законы их движения.



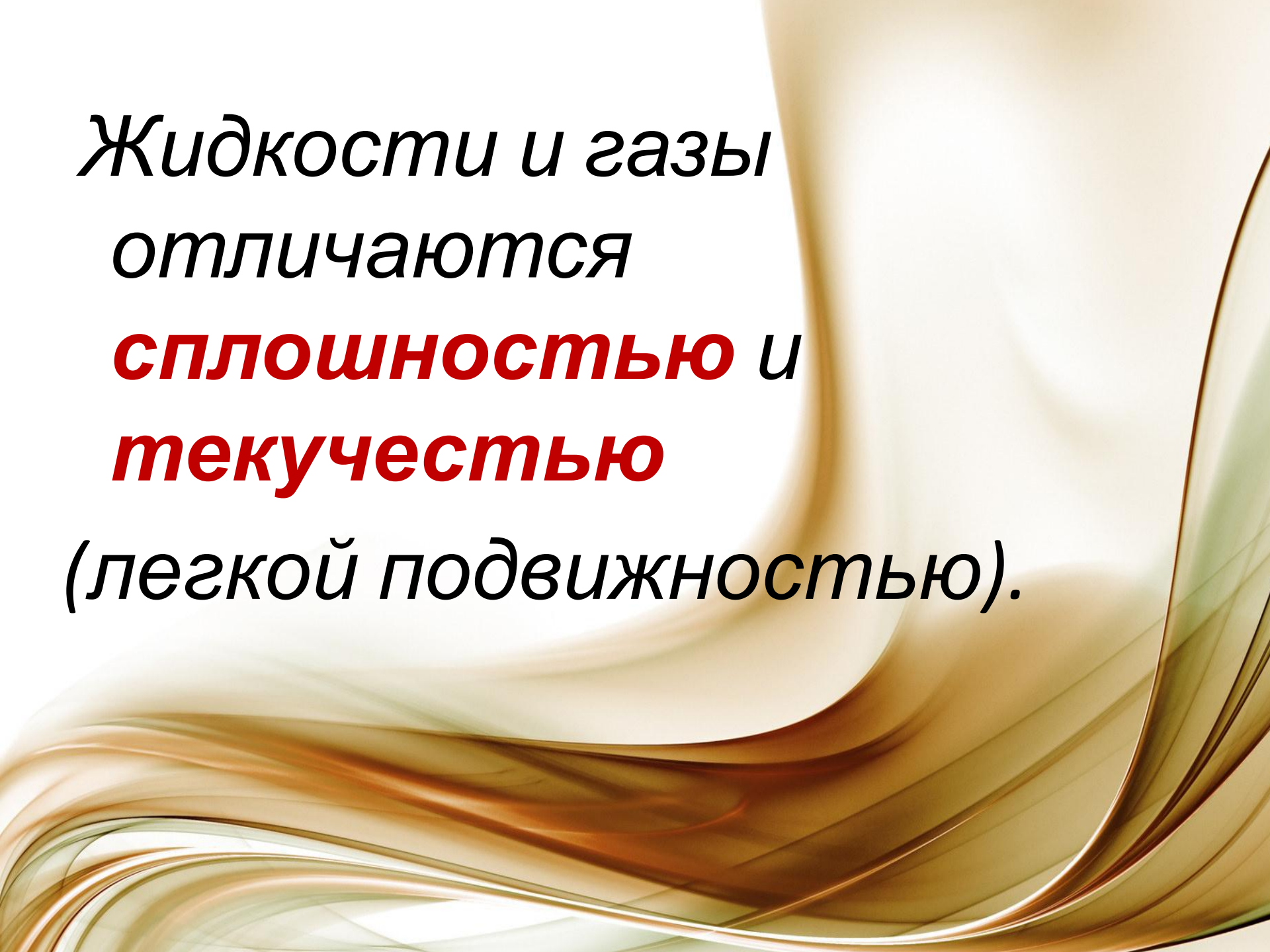
# Гидростатика

The background of the slide features a dynamic, abstract composition of flowing, wavy lines. The colors range from light beige and cream to deep, rich browns and golds, creating a sense of movement and depth. The lines are smooth and curved, resembling liquid or fabric in motion, and they fill the entire frame behind the central text.

Условия равновесия жидкостей и газов определяются силами, действующими на некоторый объем жидкости.

Силы, действующие на выделенный объем жидкости, в зависимости от области приложения делятся на **внешние** и **внутренние**.





*Жидкости и газы  
отличаются  
**сплошностью** и  
**текучестью**  
(легкой подвижностью).*

При изучении законов  
равновесия жидкостей и газов  
используют понятия об  
**идеальной** (гипотетической) и  
**реальной** жидкостях.

**Идеальная жидкость** обладает бесконечно большой текучестью. Она абсолютно несжимаема под действием давления, не изменяет плотности при изменении температуры и не обладает внутренним трением (вязкостью).



# Реальные жидкости

делятся на **капельные** (собственно жидкости) и **упругие** (газы и пары).

**Капельные** жидкости практически несжимаемы и обладают малым коэффициентом объемного расширения.

Объем **упругих** жидкостей сильно изменяется при изменении температуры и давления.

# Основные физические свойства жидкостей

- Плотность
- Удельный вес
- Удельный объем
- Вязкость

# Плотность

характеризует распределение массы  
в пространстве, занятом жидкостью  
или газом

$$\rho = \Delta m / \Delta V$$

Единица измерения плотности в СИ

$$1 \text{ кг/м}^3.$$



Для капельных жидкостей при  
технических расчетах  **$\rho = \text{const}$** .  
Например, для воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$   
в широком диапазоне температур  
(0—100 °С).

Для упругих жидкостей (газы, пары)  
плотность зависит от температуры и  
давления:  **$\rho = f(P, T)$**

# Плотность упругих жидкостей

$$\rho = (M/22,4) * (T_0 P / T P_0)$$

где:  $M$  - молярная масса газа (пара),  
кг/кмоль;

$T_0 = 273$  К;  $P_0 = 0,1013$  МПа = 760 мм рт. ст.;

$P$  — среднее давление среды, в таких же  
единицах как и  $P_0$

$T$  - средняя температура, К;

22,4 — молярный объем газа (пара),  
м<sup>3</sup>/кмоль.

Плотность смеси газов:

$$\rho_{\text{см}} = \gamma_1 \rho_1 + \gamma_2 \rho_2 + \gamma_3 \rho_3 \dots$$

Где:

$\gamma_1, \gamma_2, \dots$  — объемные доли  
компонентов смеси;

$\rho_1, \rho_2, \dots$  — плотности  
соответствующих  
компонентов, в  $\text{кг/м}^3$ .



# Удельный вес.

- Иногда в технике используют понятие веса  $G$  (силы тяжести) единицы объема:

$$\gamma = \Delta G / \Delta V = \Delta mg / \Delta V = \rho g,$$

где  $g$ - ускорение свободного падения

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Единица измерения удельного веса в СИ

$$1 \text{ Н/м}^3.$$

# Удельный объем.

- Для характеристики распределения массы вещества в пространстве иногда применяют удельный объем  $v$ , величина которого обратна плотности:

$$v=1/\rho$$

# Гидростатическое давление.

В результате действия поверхностных и массовых (объемных) сил внутри жидкости возникает гидростатическое давление.

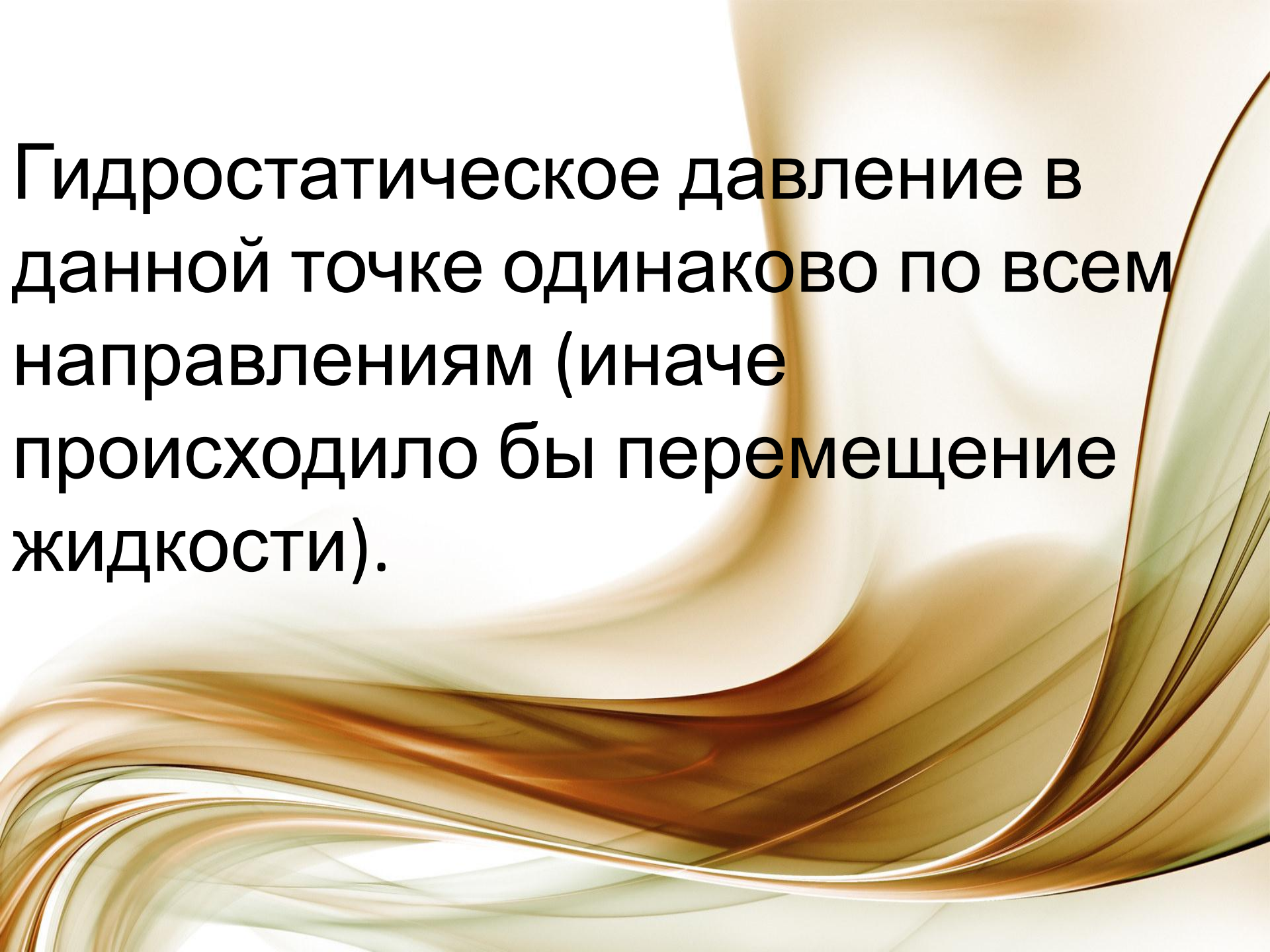
Выделим некоторую площадку  $\Delta F$  внутри объема покоящейся жидкости.

Независимо от положения площадки в пространстве, в данной точке объема жидкость будет давить на нее с некоторой силой  $\Delta P$



Отношение  $\Delta P / \Delta F$   
представляет собой среднее  
гидростатическое давление, в  
данной точке.

Единица измерения давления  
в СИ — 1 Па.

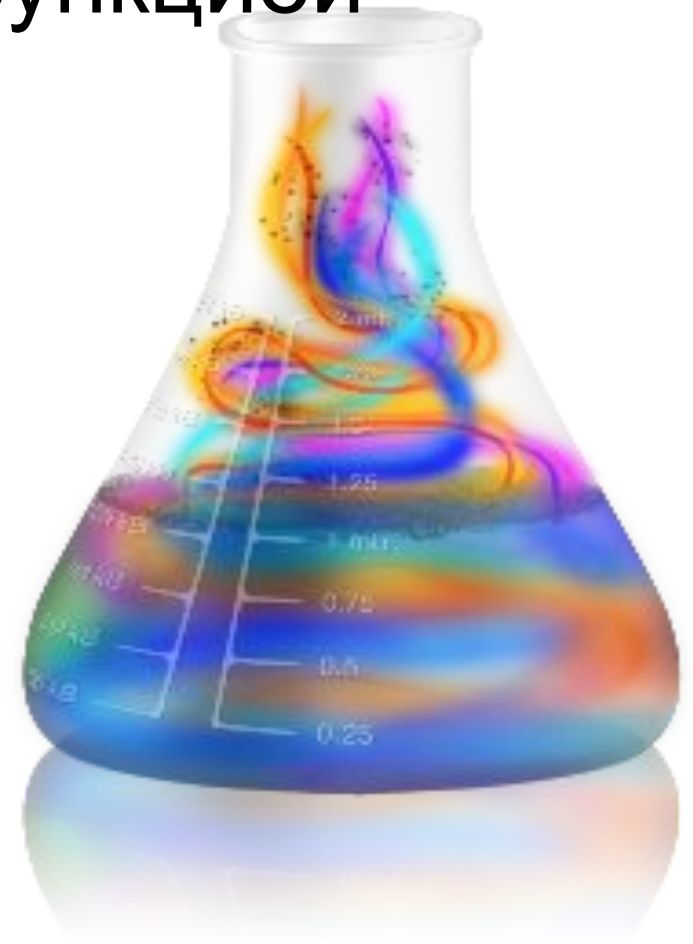


Гидростатическое давление в данной точке одинаково по всем направлениям (иначе происходило бы перемещение жидкости).

В разных точках  
гидростатическое давление  
различно и является функцией  
координат:

$$P=f(x, y, z),$$

т. е. меняется при  
изменении глубины  
погружения  
в жидкость.



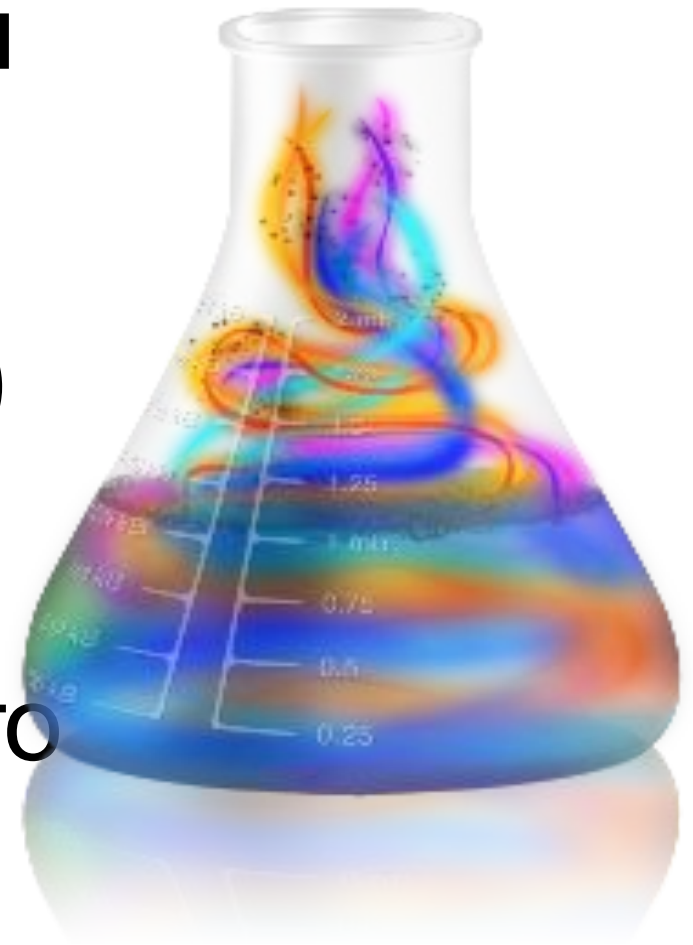
# Основное уравнение

гидростатики  $P/\rho g + z = \text{const}$

первый член уравнения  $P/\rho g$  представляет собой статический (или пьезометрический) напор, характеризующий удельную потенциальную энергию жидкости (энергию, приходящуюся на единицу веса жидкости).



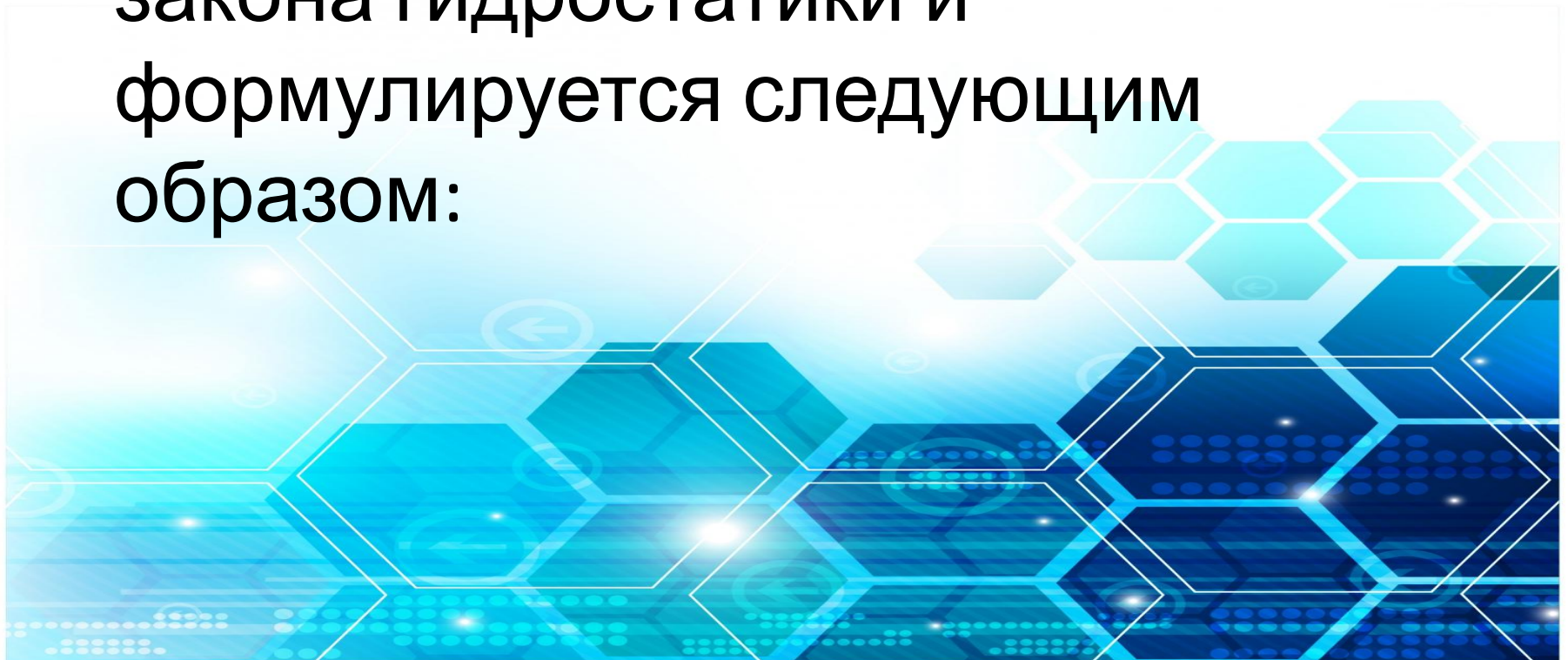
Второй член уравнения  $z$  — это геометрический напор. Из уравнения следует, что сумма статического (пьезометрического) и геометрического напоров (в м) для поверхностей любого уровня постоянна.



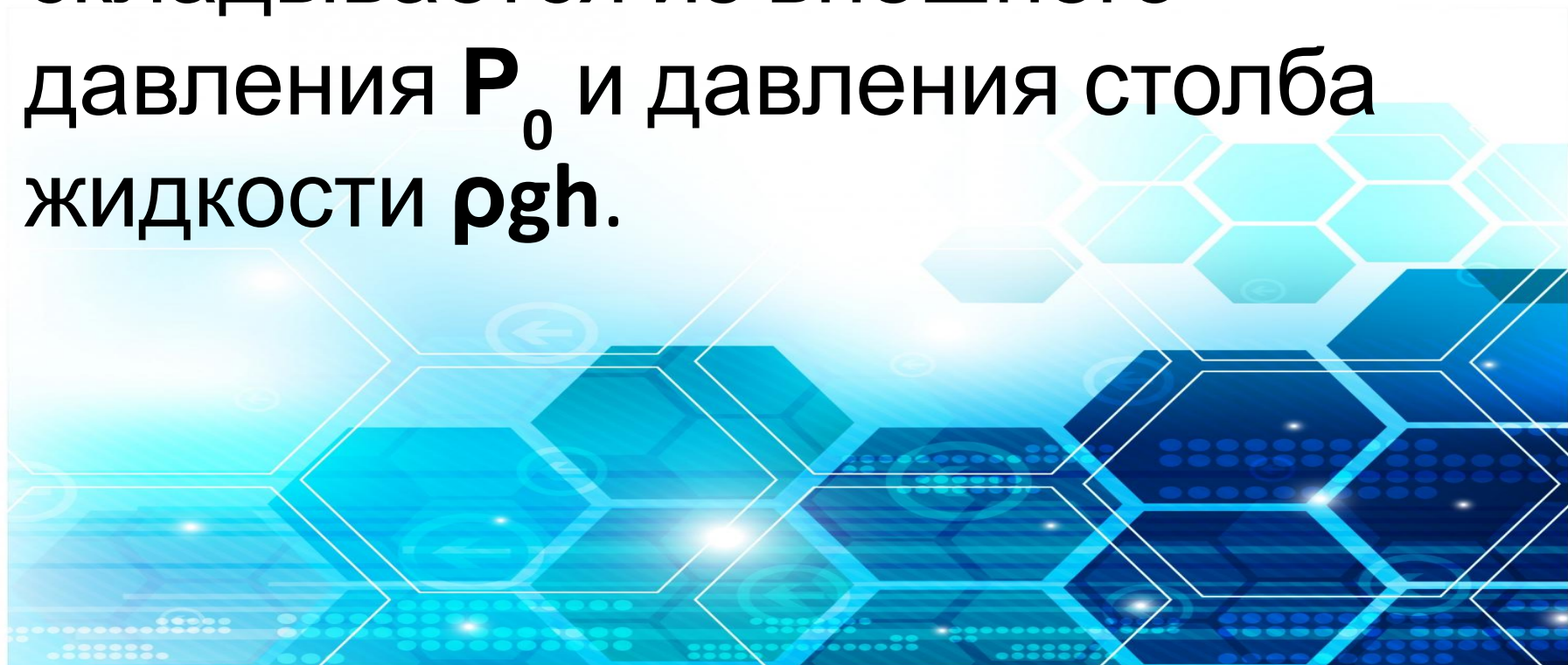
# Уравнение Паскаля

$$P = P_0 + \rho gh$$

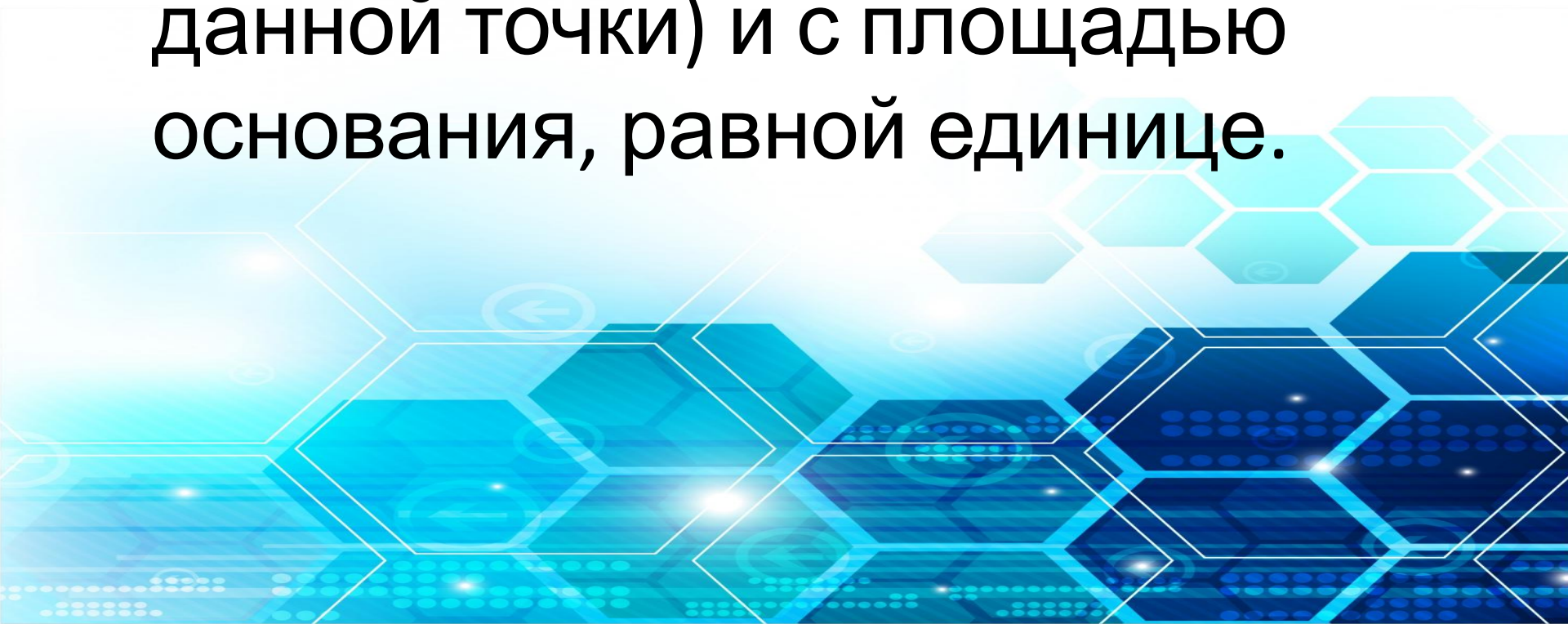
является выражением общего закона гидростатики и формулируется следующим образом:



Давление в любой точке  
покоящейся жидкости (и данной  
горизонтальной плоскости)  
складывается из внешнего  
давления  $P_0$  и давления столба  
жидкости  $\rho gh$ .



Давление столба жидкости  
равно весу столба жидкости  $\rho g$   
высотой  $h$  (от поверхности до  
данной точки) и с площадью  
основания, равной единице.





Закон гидростатики в такой формулировке справедлив как для несжимаемых жидкостей, так и для сжимаемых, т. е. для всех жидкостей, газов и их смесей.



# ГИДРОДИНАМИКА

The background of the slide features a series of smooth, flowing, wavy lines that create a sense of motion and fluidity. The colors are primarily warm, ranging from light beige and cream to deep, rich browns and golden tones. The lines are layered and semi-transparent, giving the overall effect a sense of depth and movement, reminiscent of liquid or smoke in motion.



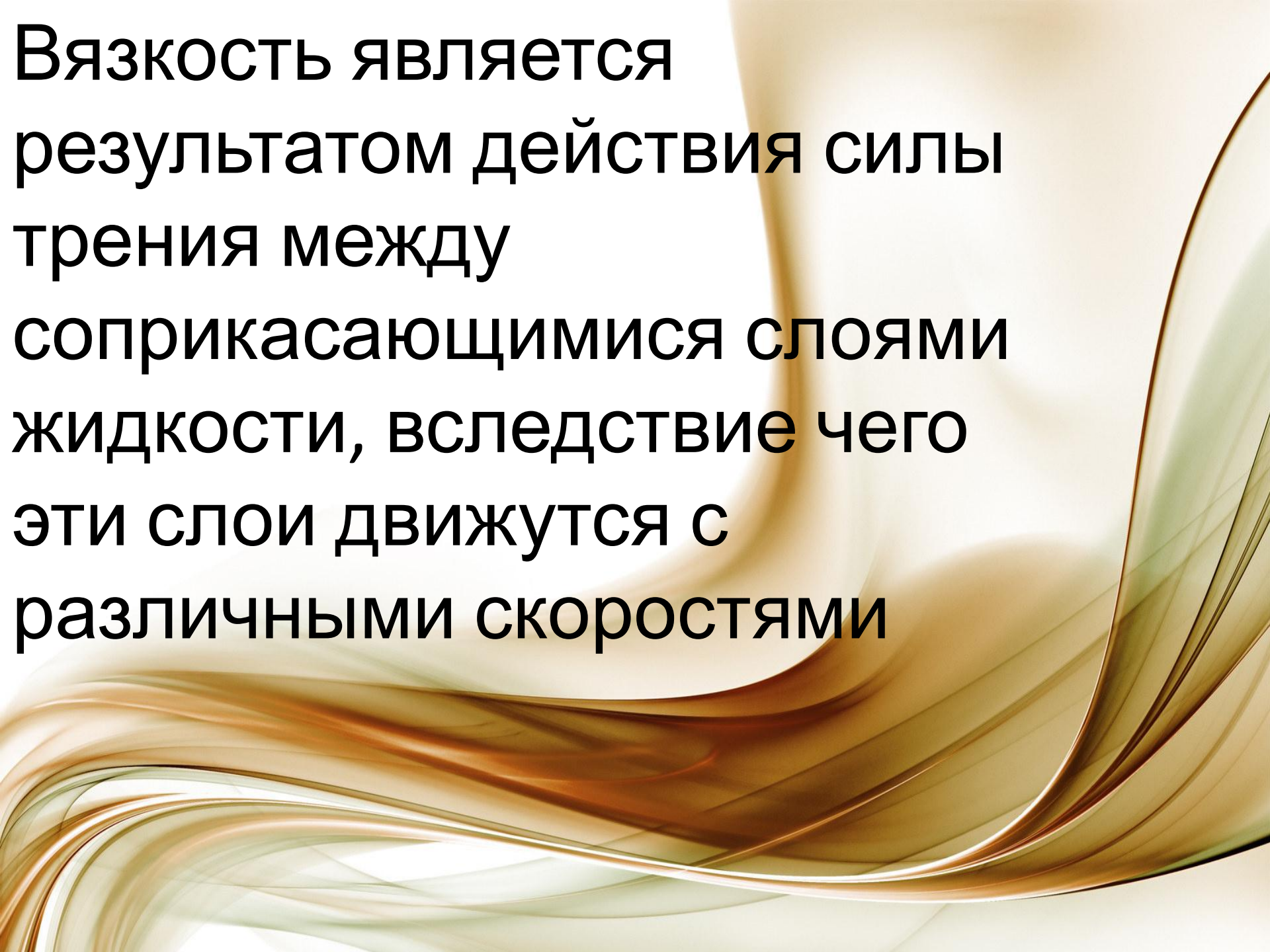
гидродинамики  
классифицируют как  
**внутреннюю, внешнюю и**

**смешанную.**

- К внутренней задаче относятся движение жидкостей и газов по трубам и каналам
- к внешней — движение твердых частиц в газе или жидкости
- к смешанной — движение жидкостей и газов через слой.

# **Вязкость.**

Это физическое свойство  
является мерой  
сопротивления,  
оказываемого жидкостью  
(газом) при относительном  
сдвиге отдельных частиц



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

- Для расчета силы трения обычно используют закон Ньютона

$$P_{\text{тр}} = \mu F * (\Delta w / \Delta n)$$

$P_{\text{тр}}$  - сила трения,

$F$ - площадь поверхности слоя,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta w / \Delta n$ - градиент скорости;

$\mu$ -динамический коэффициент вязкости;

$W$  – скорость слоя жидкости;

$\Delta n$  – расстояние между двумя слоями жидкости.

В расчетах часто используют  
кинематический коэффициент  
вязкости (кинематическую  
вязкость):

$$\nu = \mu / \rho$$

Единицы измерения и в СИ

$$\nu - 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu - 1 \text{ м}^2 / \text{с}$$

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

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

**Где:  $\mu_0$  - динамический коэффициент вязкости при 0°С;**

**T — температура, К;**

**C — постоянная Сатерленда, зависящая от свойств газа (например, для воздуха**

**C = 124, для аммиака 626, для**



**Значения  $\mu$  для жидкостей и газов при различных температурах, необходимые для расчета, определяют по номограммам и диаграммам, имеющимся в справочной литературе, или рассчитывают по приведенным выше формулам.**

# **Влияние температуры и давления.**

- **Зависимость вязкости капельных жидкостей от давления (приблизительно до 10 МПа, т. е. 100 кгс/см<sup>2</sup>) ничтожна, поэтому в технических расчетах ею пренебрегают.**

- У капельных жидкостей с повышением температуры уменьшаются силы межмолекулярного сцепления — вязкость понижается
- У газов с повышением температуры возрастает число соударений молекул, внутреннее трение увеличивается, вязкость повышается.

# Скорость и расход жидкости

Движение жидкости характеризуется скоростями ее частиц.

Уравнение объемного расхода (в м<sup>3</sup>/с):

$$V=w*f$$

Уравнение массового расхода (в кг/с):

$$M = V\rho = w * f * \rho$$

Где

$\rho$  - плотность жидкости,

$w$  – скорость (в м/с)

$F$  - площади поперечного сечения (в м<sup>2</sup>) потока.

# Уравнение неразрывности

- Возьмем трубопровод переменного сечения. Выясним, как происходит изменение скорости при установившемся режиме при переходе от сечения 1 к сечению 2.

$$M_1 = M_2, \rho = \text{const}$$

следовательно:

$$w_1 f_1 = w_2 f_2 = \text{const} = V$$



**В установившемся потоке  
жидкости средние по  
сечениям  
скорости обратно  
пропорциональны  
площадям этих сечений.**

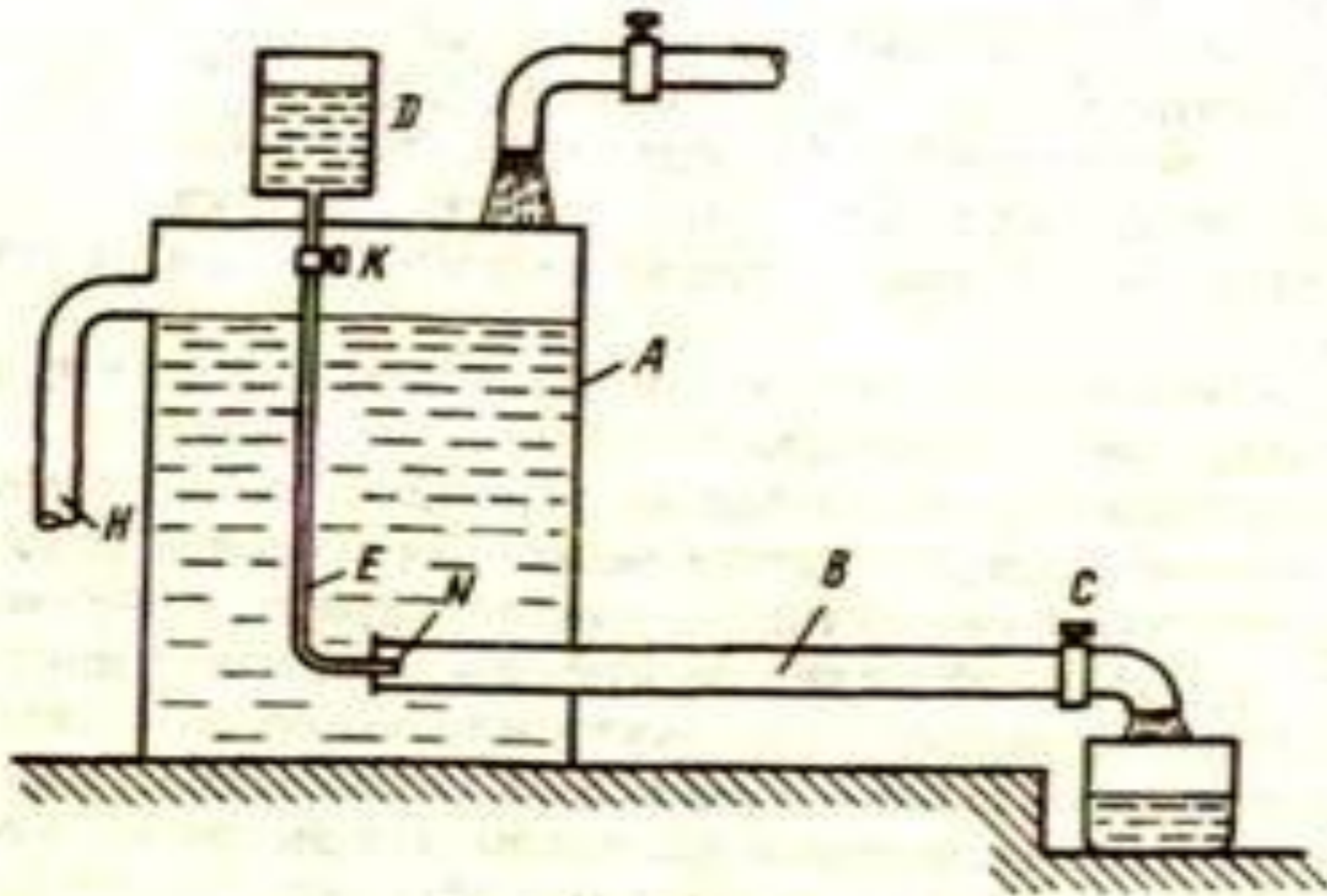
## Уравнение Бернулли:

$$w^2/2g + P/\rho g + z = \text{const}$$

Эту величину называют гидродинамическим напором.

Гидродинамический напор включает три слагаемых: **z** - геометрический напор (или высота); **P/ρg** — статический напор, характеризует удельную потенциальную энергию давления; **w<sup>2</sup>/2g** - скоростью (динамический) напор, или удельная кинетическая энергия.

# Критерий Рейнольдса



- **К сосуду 1, в котором поддерживается постоянный уровень воды, присоединена горизонтальная стеклянная труба 2. В эту трубу по ее оси через капиллярную трубку 3 вводится тонкая струйка той же, но окрашенной жидкости. При небольшой скорости жидкости в трубе 2 окрашенная струйка располагается горизонтально и, не размываясь, достигает конца трубы. Все частицы**

Такое движение называется  
**ламинарным** (от латинского  
слова *lamina* — полоска,  
пластинка).

Если скорость  
жидкости в трубе увеличивать,  
то с некоторого предела  
окрашенная струйка  
приобретает волнообразное  
движение, а затем начинает  
размываться, смешиваясь с  
основной массой жидкости.

Это движение называется **турбулентным** (от латинского слова *turbulentus* — вихревой).

Такое движение  
характеризуется  
безразмерной переменной –  
**критерием Рейнольдса:**



$$wd\rho/\mu = wd/\nu = Re$$

где:

$w$  - средняя скорость потока, м/с;

$d$  - диаметр трубопровода, м;

$\rho$  - плотность потока, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  - динамический коэффициент  
вязкости, Па\*с;

$\nu$  - кинематический коэффициент  
вязкости, м<sup>2</sup>/с.

Таким образом, существуют два режима движения потока;

- ламинарный ( $Re < 2300$ ) и
- турбулентный ( $Re > 10000$ ).
- область движения при значениях

$Re = 2300-10\ 000$  обычно называют переходной.