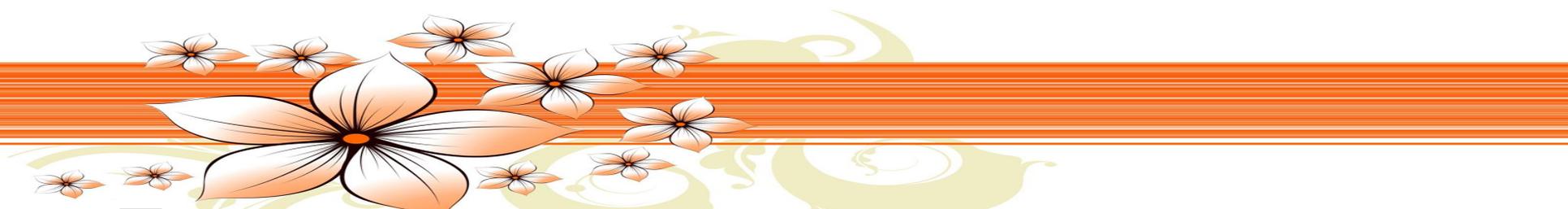




**Гидромеханические
процессы
и
аппараты**

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.

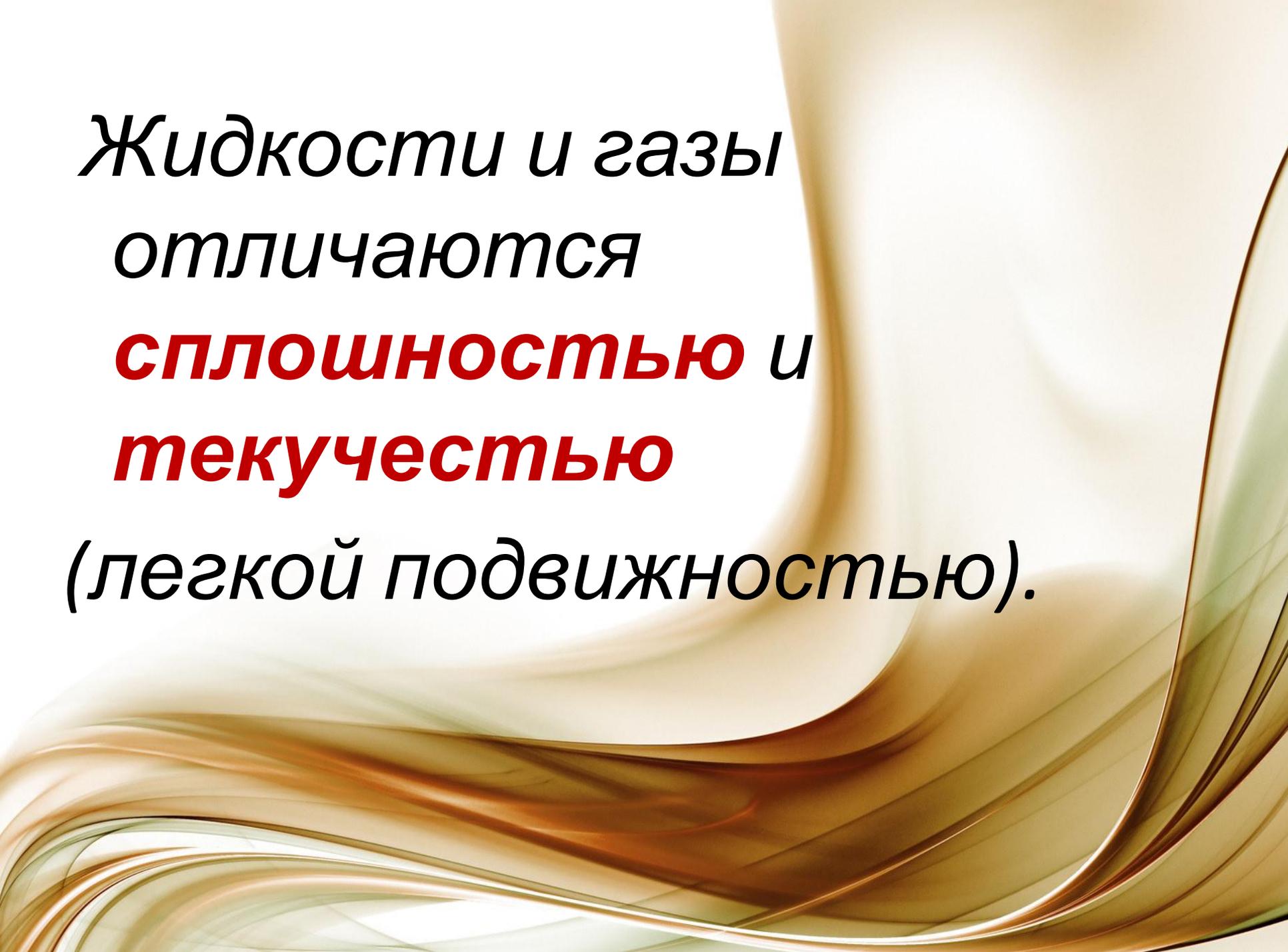
В гидростатике изучают
законы равновесия
жидкостей и газов,
В гидродинамике —
законы их движения.

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 golden-brown and dark brown, 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 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),
м³/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;

ρ_1, ρ_2, \dots — плотности
соответствующих
компонентов, в 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.

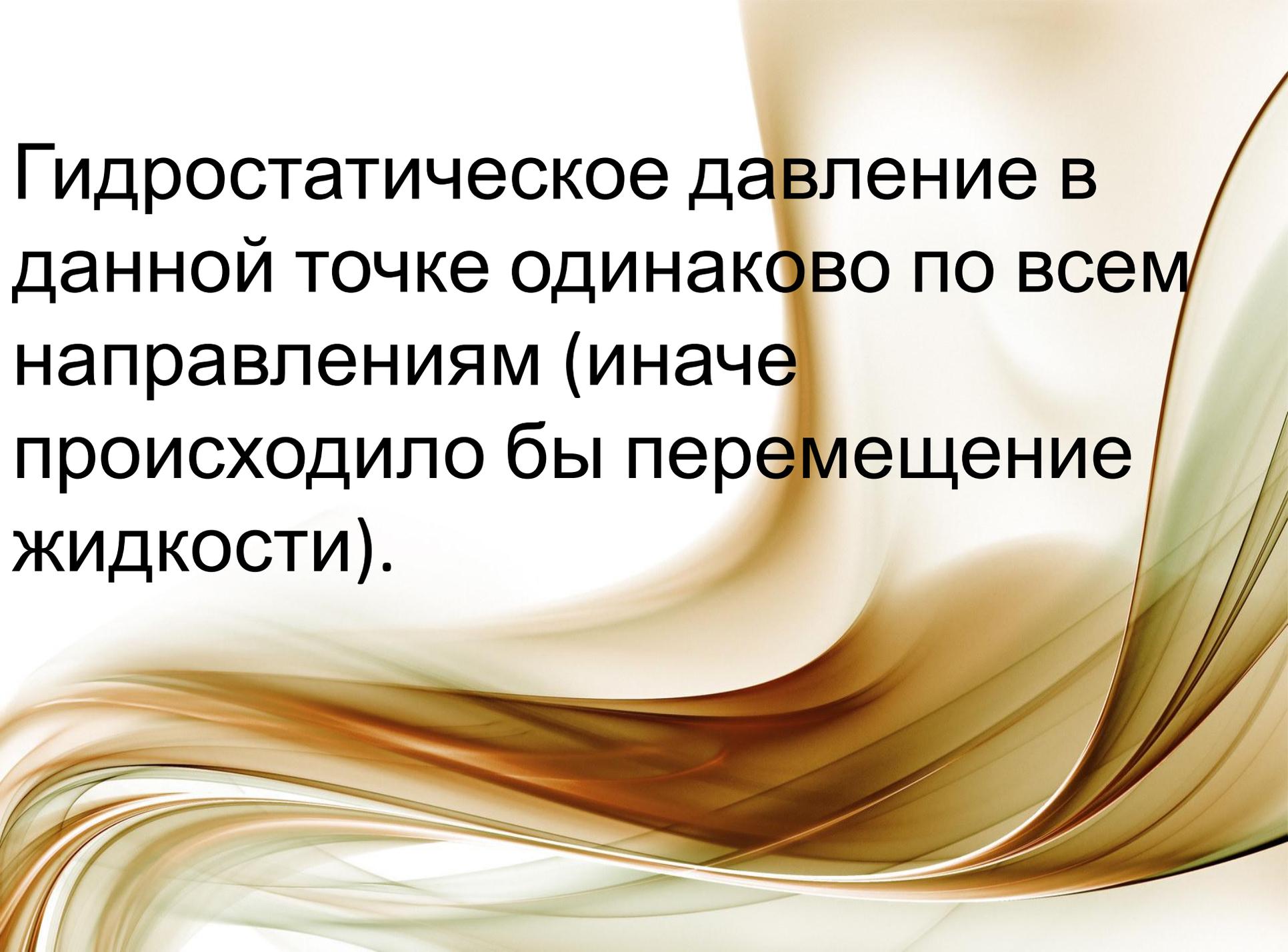
В результате действия поверхностных и массовых (объемных) сил внутри жидкости возникает гидростатическое давление.

Выделим некоторую площадку ΔF внутри объема покоящейся жидкости.

Независимо от положения площадки в пространстве, в данной точке объема жидкость будет давить на нее с некоторой силой ΔP

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

Единица измерения давления
в СИ — 1 Па.

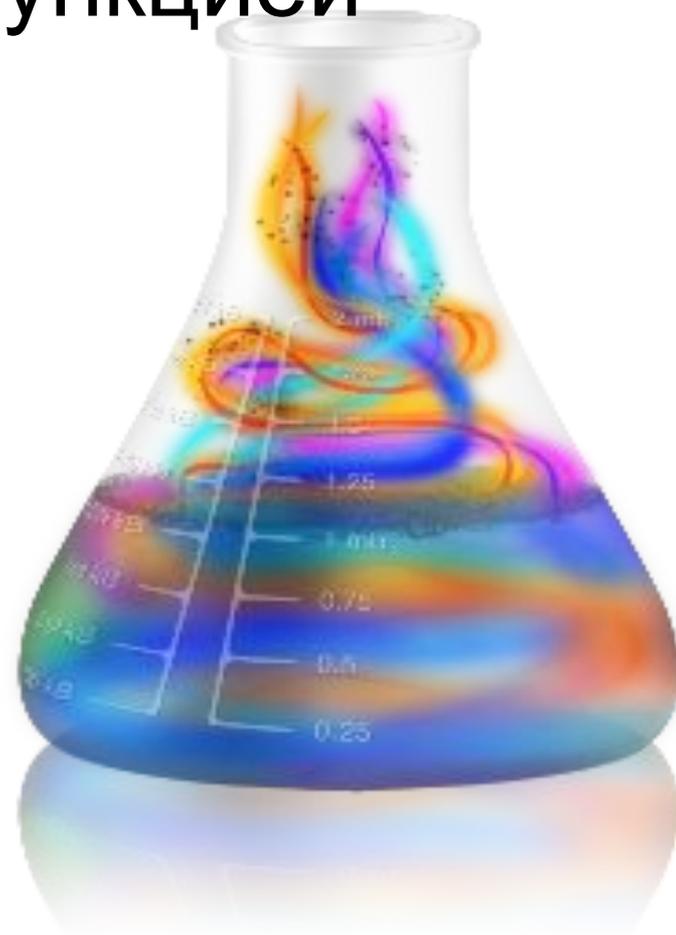


Гидростатическое давление в данной точке одинаково по всем направлениям (иначе происходило бы перемещение жидкости).

В разных точках
гидростатическое давление
различно и является функцией
координат:

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

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

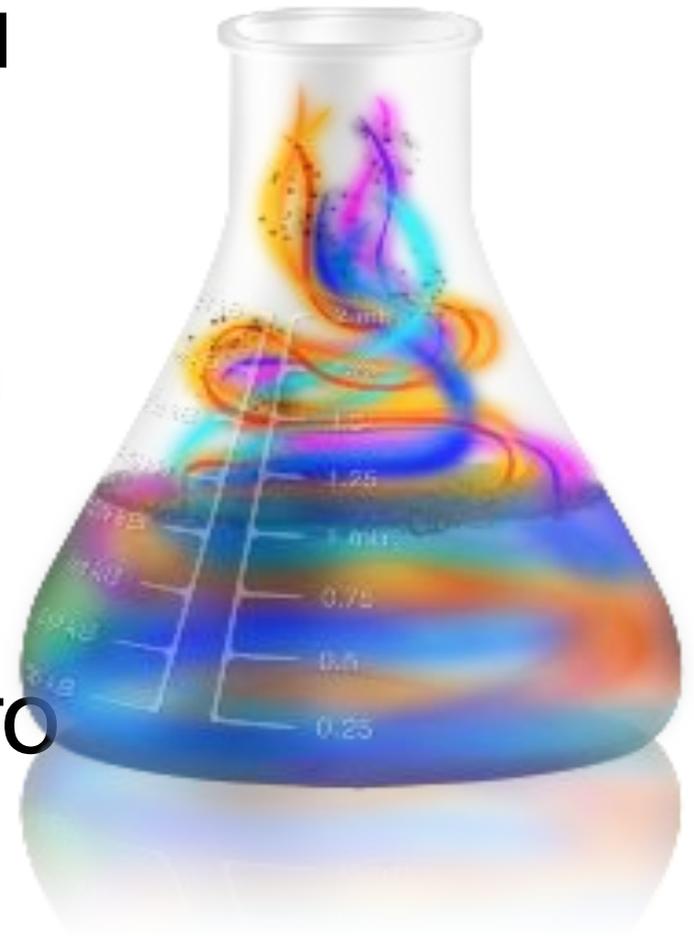


Основное уравнение

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).

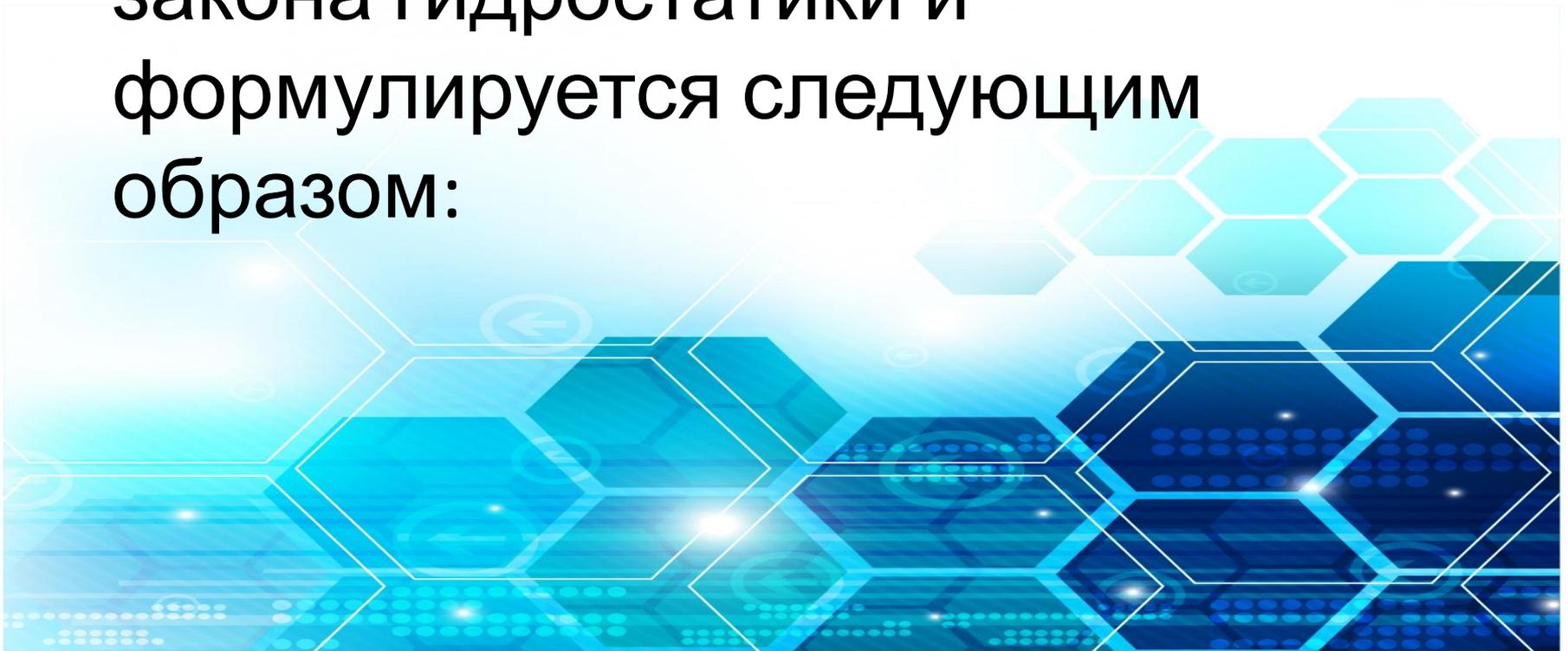
Второй член уравнения z — это геометрический напор. Из уравнения следует, что сумма статического (пьезометрического) и геометрического напоров (в м) для поверхностей любого уровня постоянна.



Уравнение Паскаля

$$P = P_0 + \rho gh$$

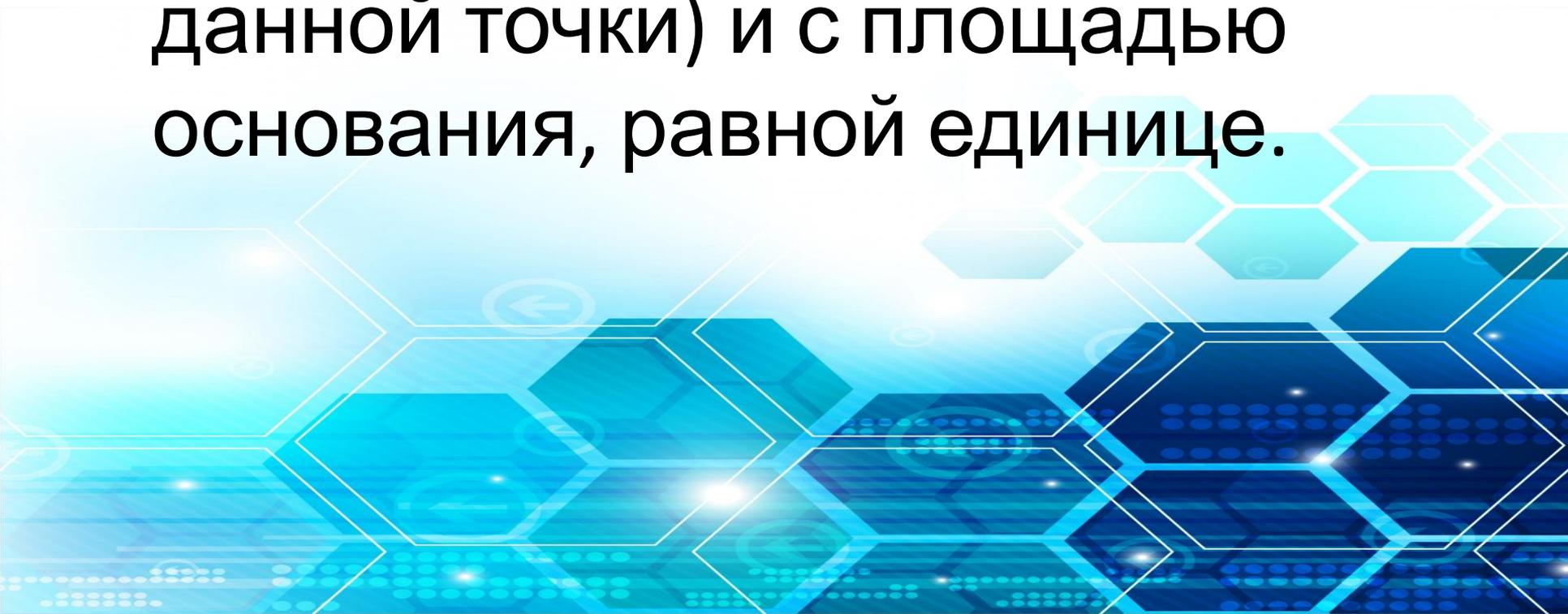
является выражением общего закона гидростатики и формулируется следующим образом:



Давление в любой точке
покоящейся жидкости (и данной
горизонтальной плоскости)
складывается из внешнего
давления P_0 и давления столба
жидкости ρgh .



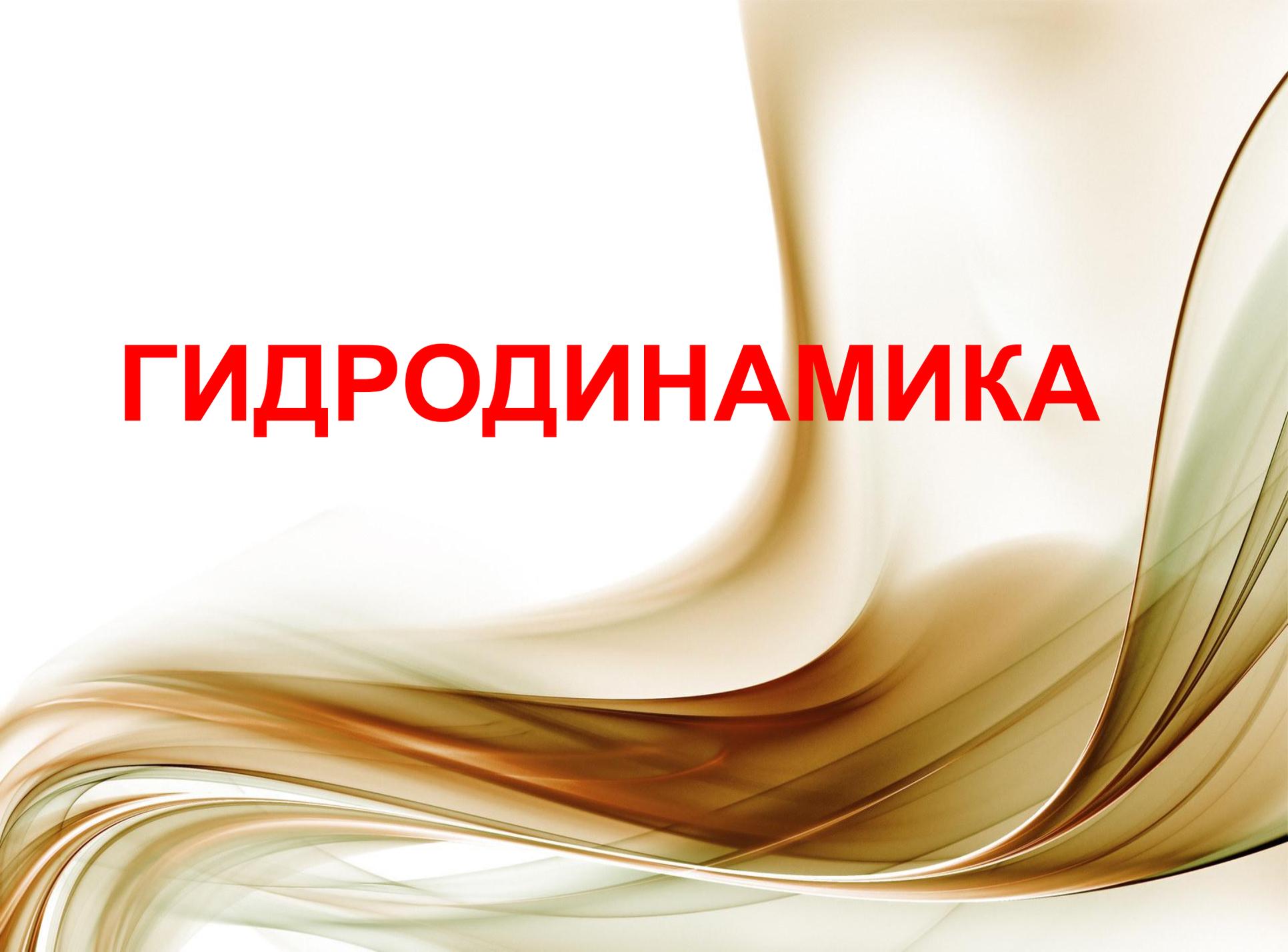
Давление столба жидкости
равно весу столба жидкости ρg
высотой h (от поверхности до
данной точки) и с площадью
основания, равной единице.



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 soft, ethereal quality. The text is centered horizontally and placed in the upper-middle portion of the frame, ensuring it stands out clearly against the lighter background.

гидродинамики
классифицируют как
внутреннюю, внешнюю и

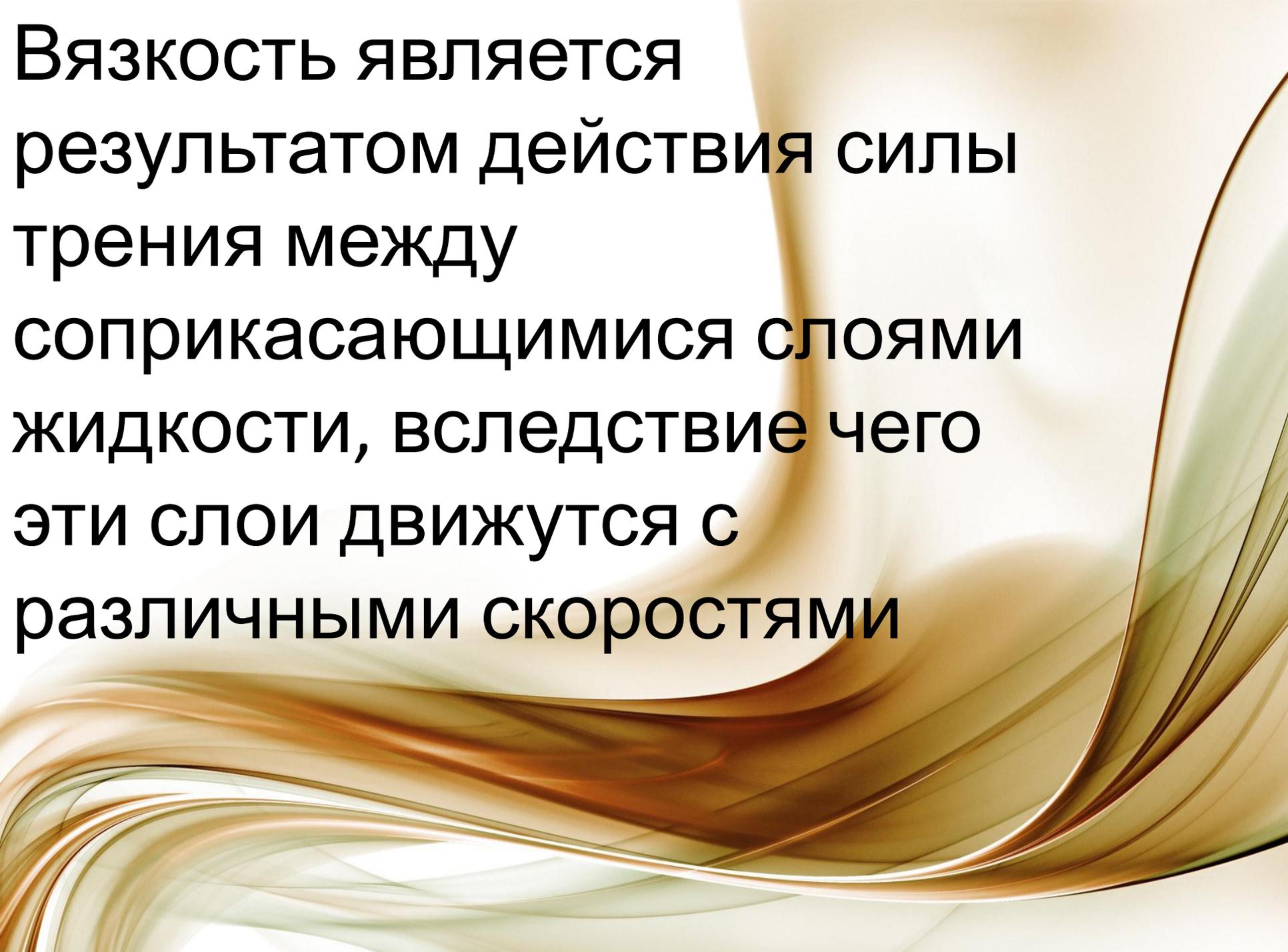
смешанную.

- 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, м^2 ;

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

μ -динамический коэффициент
вязкости;

W – скорость слоя жидкости;

Δn – 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: μ_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 μ 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/см²) 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 м³/с):

$$V=w*f$$

Уравнение массового расхода (в кг/с):

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

Где

ρ - плотность жидкости,

w – скорость (в м/с)

F - площади поперечного сечения (в м²) 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.**

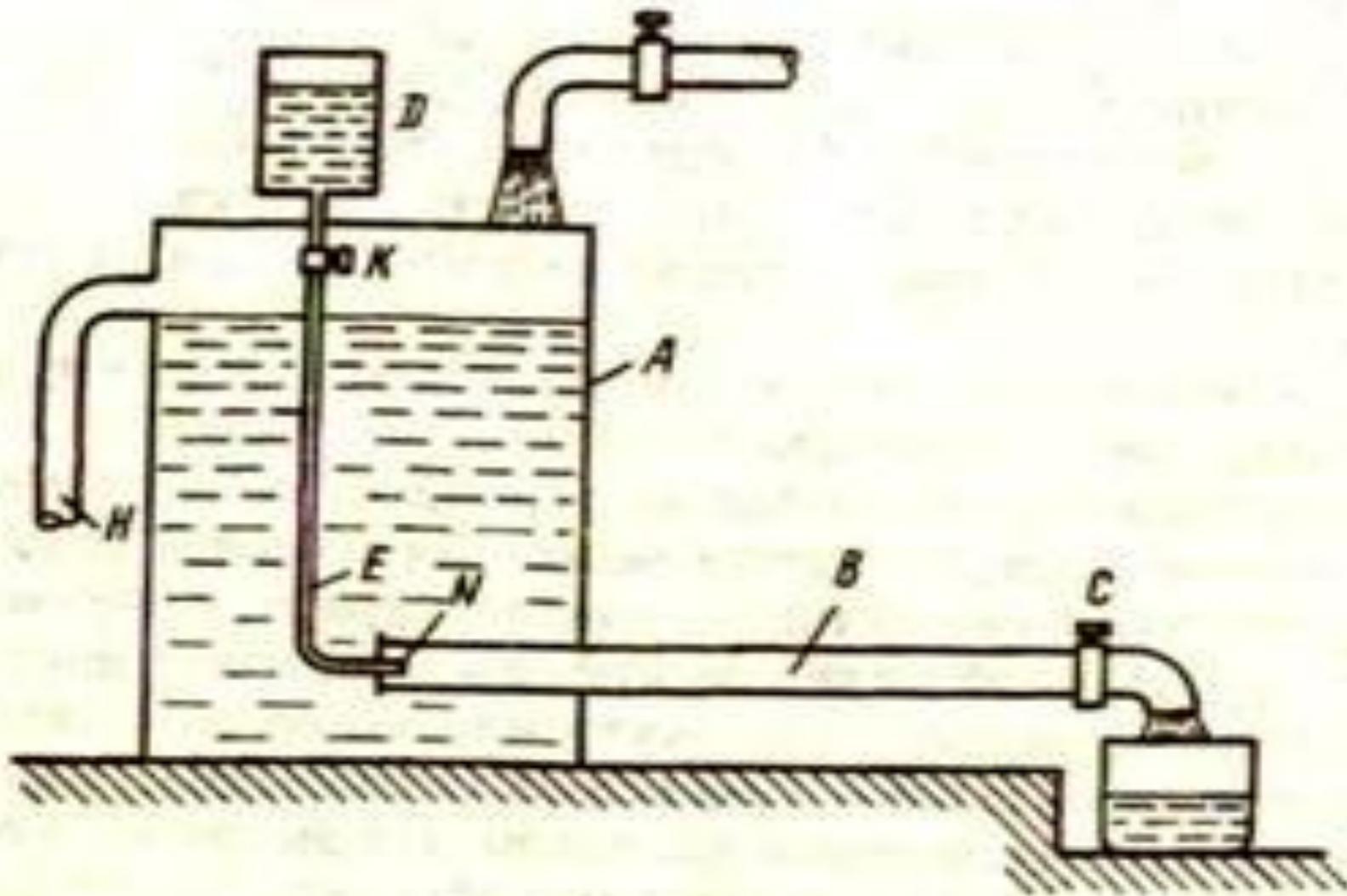
Уравнение Бернулли:

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

Эту величину называют гидродинамическим напором.

Гидродинамический напор включает три слагаемых: **z** - геометрический напор (или высота); **P/ρg** — статический напор, характеризует удельную потенциальную энергию давления; **w²/2g** - скоростной (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;

ρ - плотность потока, кг/м³;

μ - динамический коэффициент
вязкости, Па*с;

ν - кинематический коэффициент
вязкости, м²/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.