

# Гідродинамічні процеси і апарати

Гідромеханіка – це наука про рух рідин і газів.

Закони гідромеханіки вивчаються в гідравліці, яка складається з двох розділів – гідростатика і гідродинаміки.

Гідростатика розглядає закони рівноваги і стану спокою, а гідродинаміка – закони руху рідин і газів.

В промисловості будівельних матеріалів технологічні операції (перемішування литих і пластичних сумішей, транспортування їх, транспортування різних дисперсних матеріалів з допомогою пневмотранспорту, рух теплоносіїв в печах і сушарках, формування виробів і інші) пов'язані із загальними законами гідродинаміки.

В гідравліці об'єднують рідини, гази і пари під одним іменуванням – **рідини**.

При виводі основних закономірностей в гідравліці вводять поняття ідеальної рідини, яка відрізняється від ідеальної (в'язкої) тим, що є абсолютно не стискуваною, під дією навантаження, не змінює густину при зміні температури і не має в'язкості.

Реальні рідини поділяються на крапельні і пружні.

Крапельні рідини практично є не стискуваними і незначно змінюють об'єм при зміні температури. Їх густина:

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

Об'єм пружних рідин (газів, парів) дуже змінюються при зміні температури і тиску. Їх густина:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

P - тиск

M – маса 1 кмоль газу

R – універсальна газова стала, 8,31 Дж/(моль•К)

Рідина чинить тиск на дно і стінки посудини, в якій знаходиться і на поверхню будь-якого тіла зануреного в неї.

**Тиск в будь-якій точці рідини є однаковий у всіх напрямках.**

Під час руху реальної рідини в ній виникають сили внутрішнього тертя, що перешкоджають цьому руху.

**Властивість рідини чинити опір зсуву називається в'язкістю.**

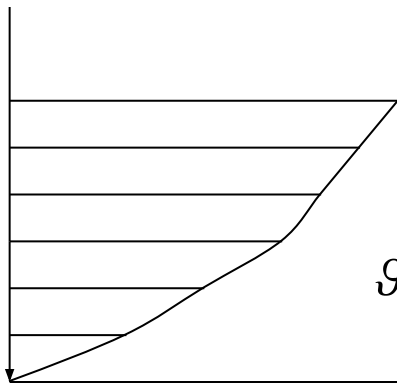
$$F = +\zeta \cdot S \cdot \frac{\Delta \vartheta}{\Delta x}$$

$\Delta \vartheta$  - абсолютний зсув верстви II по верстви I

$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta x}$  - відношення, яке характеризує відносний зсув називається градієнтом швидкості

$\zeta$  – коефіцієнт пропорційності, або в'язкість (Пуаз, П)  $(\text{Па} \cdot \text{с})$   $1(\text{Па} \cdot \text{с}) = 10\text{П} = 1000\text{сП}$

## Характеристика в'язкості



II	
$S \rightarrow F$	$\longrightarrow V + dV$
I	
$S \leftarrow R$	$\longrightarrow V$

Сила опору  $R$ , яка виникає всередині рідини є рівною силі  $F$  і направлена в протилежну сторону ( $F = - R$ ).

Відношення цієї сили до поверхні дотику верств позначають через  $\tau$

$$\left( \tau = \frac{R}{S} \right)$$

## Закон внутрішнього тертя Ньютона

$$\tau = -\zeta \cdot S \frac{d\vartheta}{dx}$$

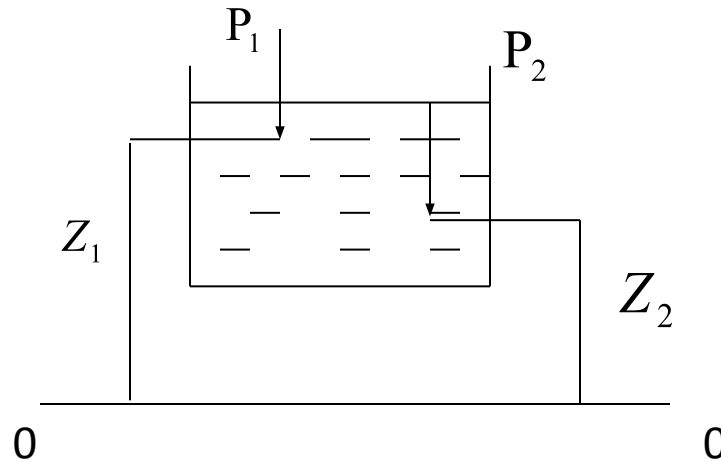
$\zeta$  - коефіцієнт пропорційності динамічним коефіцієнтом в'язкості ( $\text{Па} \cdot \text{с}$ )

динамічною в'язкістю або просто в'язкістю

# Рівняння

## Гідростатики

Для кожної точки рідини, яка знаходиться в стані спокою сума нівелірної висоти і статичного опору є постійною



## Основні рівняння гідростатики

$$Z_1 + \frac{P_1}{(\rho \cdot g)} = Z_2 + \frac{P_2}{(\rho \cdot g)} \quad Z + \frac{p}{(\rho \cdot g)} = const$$

$Z$  – нівелірна висота (геометричний напір) або питома потенціальна енергія положення даної точки над площиною поршня.

$\frac{P}{(\rho \cdot g)}$  – статичний (п'єзометричний) напір або питома потенціальна енергія тиску.

Основне рівняння гідростатики є окремим випадком закону збереження енергії:

Питома потенціальна енергія у всіх точках рідини, що знаходиться в спокої є величиною постійною.

## Закон

## Паскаля

Тиск, створений в будь-якій точці нестискуваної рідини, передається однаково всім точкам його об'єму.

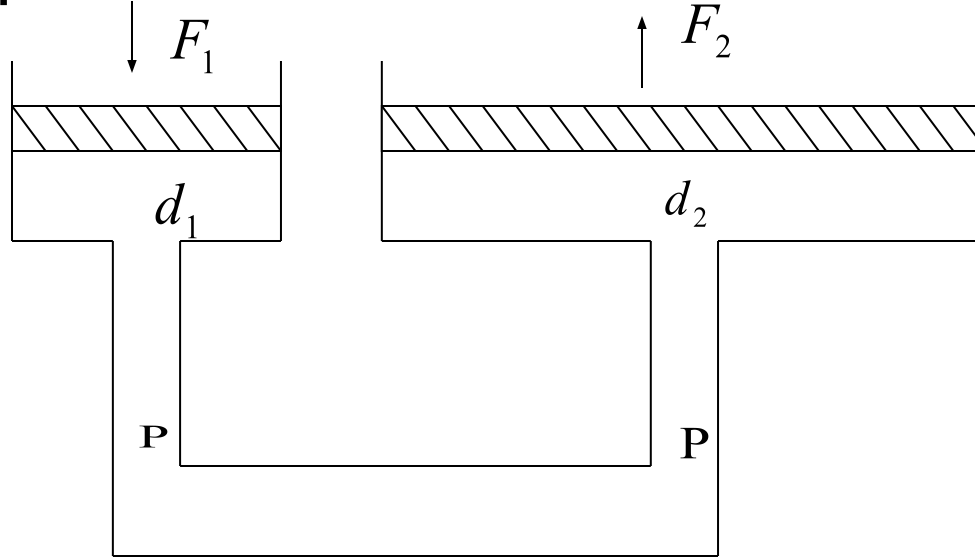
З використанням основного рівняння гідростатики працюють гідравлічні преси, що широко використовуються в промисловості будівельних матеріалів.

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2$$

$$P_1 = P_2 + \overset{\text{аб}}{\underset{\text{о}}{\rho}} \cdot g (z_1 - z_2)$$



# Принципова схема гідравлічного преса



$$F_1 = P \frac{\pi d_1^2}{4}$$

$$F_2 = P \frac{\pi d_2^2}{4}$$

Сила  $F_2$  буде у стільки разів більшою від сили  $F_1$  у скільки разів площа поршня  $d_2$  є більшою за площу поршня  $d_1$ , тобто з допомогою невеликих зусиль між поршнем  $d_2$  і плитою створюються значні стискувальні навантаження.

# Гідростатика

Основний об'єкт вивчення гідростатики – потік рідини між обмеженими поверхнями.  
Рушійна сила потоку – різниця тисків.

Сталий рідини	і	несталий рух
швидкість рідини в будь-якій точці простору не змінюється в часі		змінюється за величиною і напрямком

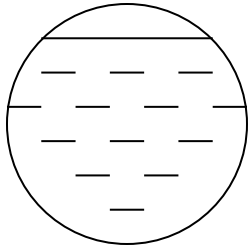
В інженерних розрахунках використовують середню швидкість

$$g = V/S \quad V - \text{об'ємна витрата рідини;}$$

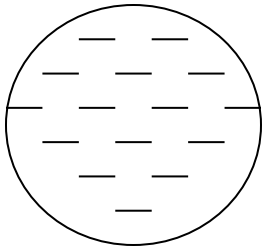
$$V = g \cdot S \quad S - \text{живе січення потоку.}$$

Масова витрата рідини:

$$M = \rho \cdot g \cdot S$$



Потоки безнапірні мають вільну поверхню.



Напірні потоки не мають вільної поверхні.

Два види потоку руху рідини: ламінарний і турбулентний.

Ламінарний – впорядкований верстовий (окремі верстви рідини ковзають один відносно одного).

Турбулентний – невпорядкований (часточки рідини рухаються за складними весь час змінними траєкторіями).

Режим руху рідини залежить від швидкості потоку, густини і в'язкості рідини, діаметра труби.

Ці величини входять в безрозмірний комплекс – критерій Рейнольдса

$$R_e = \vartheta \cdot d \cdot \rho / \zeta$$

Перехід від ламінарного потоку до турбулентного відбувається при критичному значенні критерій Рейнольдса

Ламінарний режим при русі потоку спостерігається при  $R_e \leq 2300$

# **Розподіл швидкостей і втрата рідини в потоці**

При ламінарному русі розподіл швидкостей в трубі носить параболічний характер і описується рівнянням

## Закон Стокса

$$\frac{v_r}{v_{\max}} = 1 - \frac{r^2}{R^2}$$

$$v_r = v_{\max} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad v = \frac{v_{\max}}{2}$$

$$v_r = 2v \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right)$$

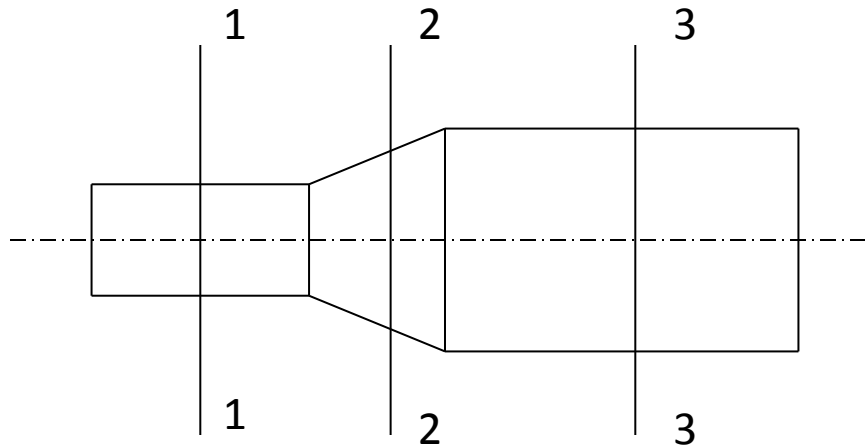
При турбулентному потоці через хаотичний рух частинок відбувається вирівнювання швидкостей.

Середня швидкість турбулентного потоку значно вища за половину максимуму, причому їх відношення  $\frac{v}{v_{\max}} = f(R_e)$  при  $R_e = 10^4$   $v \approx 0.8v_{\max}$

При установлениому (сталому) русі через кожне поперечне січення трубогу при його повному заповненні за однаковий проміжок часу проходить одна і та ж кількість рідини.

$$Q_1 \cdot S_1 = Q_2 \cdot S_2 = Q_3 S_3 \quad \text{рівняння нерозривності потоку при сталому русі.}$$

$$V_1 = V_2 = V_3$$



Рівняння

Бернуллі

$$\frac{Q^2}{(2g)^2} + \frac{P}{\rho \cdot g} + Z = const$$



або для будь-яких двох подібних точок потоку

$$\frac{v_1^2}{2g} + P_1(\rho \cdot g) + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + P_2(\rho \cdot g) + Z_2$$

При сталому русі ідеальної рідини сума потенціальної і кінетичної енергії рідини для кожного з поперечних січень потоку є величиною постійною.

Величина  $Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g}$  називається повним гідродинамічним напором,

де  $Z$  – геометричний напір  
 $\frac{P}{\rho \cdot g}$  – статистичний напір  
 $\frac{v^2}{2g}$  – динамічний напір  
 $H_2$  або питома потенціальна енергія положення;  
 $H_{ст}$  питома потенціальна енергія тиску в даній точці;  
 $H_{дин}$  або питома кінетична енергія в даній точці.

Під час руху реальних рідин внаслідок в'язкості рідини і сил тертя до стінок труби виникають сили, що створюють опір руху рідини.

На подолання виниклого гідравлічного опору буде витрачатися частина енергії потоку, яка носить назву витраченого напір

Тому в рівняння Бернуллі вводиться ще один

член

$$Z_1 + \frac{P_1}{(g \cdot \rho)} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{(\rho \cdot g)} + \frac{v_2^2}{2g} + H_{\text{втр}}$$

## Гідравлічний опір в трубогонах

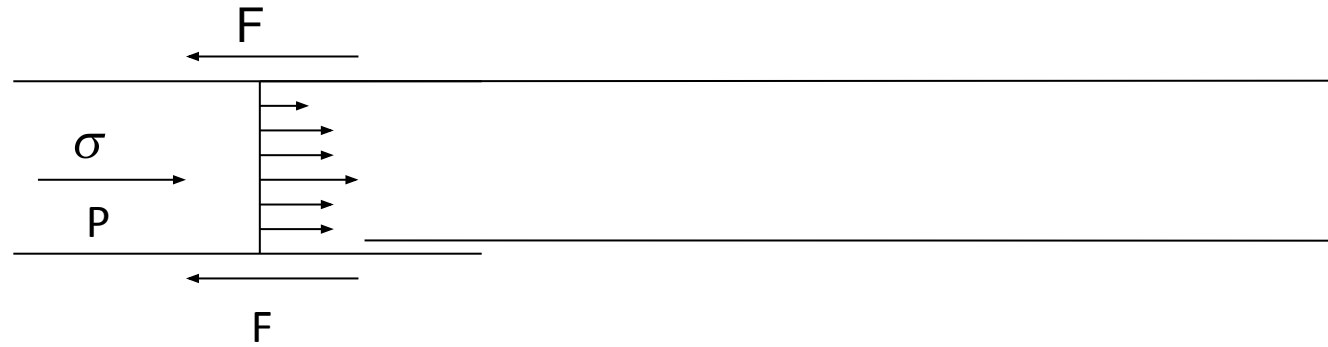
При русі рідини по трубі між стінками і потоком виникають сили опору, обумовлені гальмуванням граничних верств до стінок (сили тертя).

Завдяки в'язкості рідини це гальмування передається до наступних верств.

Рівнодіюча сила опору  $F$  направлена в сторону, протилежну рухові.

Для подолання опору тертя і підтримки руху потоку необхідно затратити додаткову енергію.

Енергію або напір, необхідний для подолання сил тертя називають втратами напору на тертя або лінійними втратами напору  $H_{втр}$ .



$$H_{втр} = (z_1 - z_2) + \left[ \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \right] + \left[ \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right]$$

На горизонтальній ділянці  $(z_1 = z_2)$  при рівномірному русі потоку  $(v_1 = v_2)$   
труби  
втрати  
напору

$$H_{втр} = \frac{\Delta p}{\rho g} = H_{тер}$$

Втрати напору зумовлені також:

Різкою зміною січення.

Різкою зміною напрямку руху потоку.

Втрати напору, що виникають в результаті різкої зміни конфігурації

межі потоку називають місцевими втратами  $H_{м.о}$

або втратами напору на місцеві опори.

Таким чином загальні втрати напору

$$H_{втр} = H_{тер} + H_{м.о}$$

Втрати напору на тертя залежать від діаметра труби  $d$  і довжини труби  $L$ , фізичних властивостей рідини – в'язкості  $Z$  і густини  $\rho$ , середньої швидкості руху рідини  $u$ , шорховатості стінок труби  $n_{ш}$

$$\Delta P_{тер} = f(d, l, \rho, z, u, n_{ш})$$