Гідравліка, гідро та пневмоприводи

Лекція 1
Вступ. Гідравліка. Рідина та її основні фізичні властивості. Гідростатика. Сили, що діють на рідину у стані спокою

Викладач: доцент кафедри МІтаАТ
к.т.н. Степчин Я.А.

Цілі та задачі дисципліни ГГтаПА

Мета вивчення дисципліни – здобути глибокі теоретичні знання та набути практичних навичок з застосування законів гідравліки, принципів роботи гідравлічних машин та апаратів, окремих гідравлічних пристроїв, які використовуються у виробництві, та методів їх розрахунку, навчити студентів основним законам гідростатики, кінематики і гідродинаміки при створенні і експлуатації високопродуктивної техніки, розробці та використанні високоефективних технологічних процесів.

Задачі дисципліни – надання студентам теоретичних знань та практичних вмінь із вивчення:

- основних законів гідростатики, кінематики і гідродинаміки при створенні і експлуатації високопродуктивної техніки, розробці та використанні високоефективних технологічних процесів;
- основних типів, принципів дії і застосування гідро- і пневмоприводів та їх окремих елементів (машин, апаратів і пристроїв);
- використання основних законів гідростатики, кінематики і гідродинаміки при розробці та експлуатації комплексів гідромеханізації, гідро- та пневмоприводів.

Рекомендована література з дисципліни

1. Грабовський, О.М. Гідравліка і нагнітачі : Навч. посібник. – К. : НМК ВО, 1992. – 316 с.
2. Кулініченко, В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : Підручник. – К. : ЦНЛ, 2006. – 616 с.
3. Мандрус, В.І. Машинобудівна гідравліка: Задачі та приклади розрахунків : навч. посібник. – Л. : Світ, 1995. – 264 с.
4. Федорець В.О., Педченко М.Н., Федорець О.О., Струтинський В.Б., Яхно О.М. Технічна гідромеханіка. Гідравліка та гідропневмопривід. – Ж. : ЖІТІ, 1998. – 412 с.
5. Ратушний О. В. Гідравліка : підручник / О. В. Ратушний, О. Г. Гусак. - 2-ге вид., переробл. - Суми : Сумський державний університет, 2022. - 251 с.
6. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : конспект лекцій / укладач Е.В.Колісніченко, А.С. Мандрика, В.О Панченко. - Суми : Сумський державний університет, 2021. - 176 с.

Вступ до дисципліни

Предмет і структура дисципліни

Дисципліна «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи» поділяється на дві частини – гідравліки і гідро та пневмоприводів.

Гідравліка - це технічна наука, що вивчає закони рівноваги і руху рідини, а також методи застосування цих законів в інженерній практиці.

Гідравліка є частиною загальної науки – механіки, яка складається з механіки твердого тіла і механіки рідини. Механіку рідини поділяють на теоретичну гідромеханіку і технічну гідромеханіку (гідравліку). У теоретичній гідромеханіці задачі рівноваги та руху рідини розв'язують за допомогою методів теоретичної механіки і математичного аналізу. У технічній гідромеханіці (гідравліці) широко використовують результати дослідів.

Гідравліка - прикладна наука, тому для вирішення багатьох інженерних завдань беруть різні припущення, що спрощують гідравлічні явища та використовують емпіричні та напівемпіричні залежності.

Гідравліка складається з трьох розділів:

1) **гідростатики** - розділу, де вивчають рідину в стані спокою;
2) **кінематики рідини**, що розглядає зв'язок між геометричними характеристиками руху і часом;
3) **гідродинаміки** – яка вивчає закони руху рідини залежно від прикладених до неї сил.

Основні закони гідравліки застосовують під час проєктування різних **гідравлічних машин** (насосів, гідродвигунів, гідравлічних передач), під час розрахунків **гідротехнічних споруд** (гребель, каналів, зрошувальних систем, водозливів та ін.), розрахунків **трубопроводів**, **гідравлічних систем** і **гідроприводів** тощо.

Відповідно, у другій частині курсу - «гідро та пневмоприводи» розглядають прикладне застосування законів гідравліки.

У гідроприводі використовують енергію стисненої рідини.

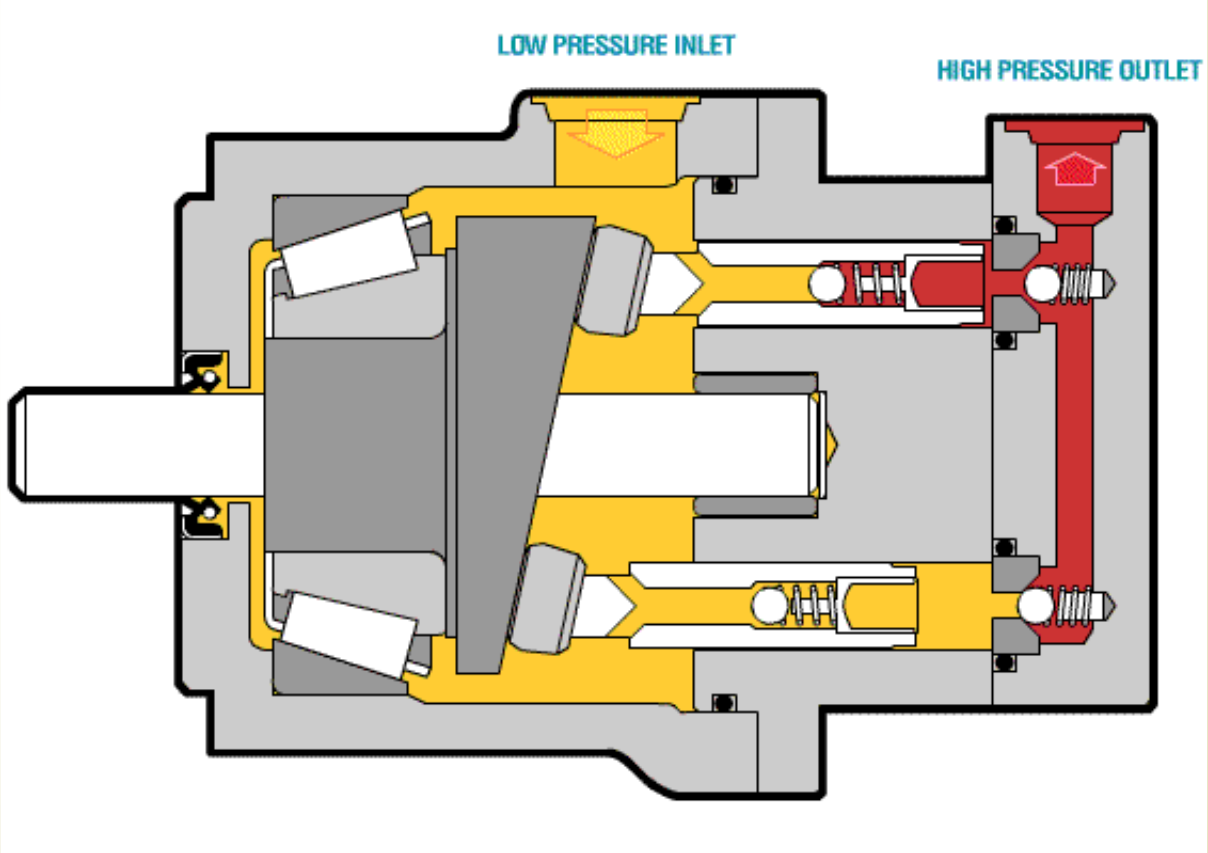


Рис. 1. Схема роботи аксіально поршньового насосу з похилим диском

Гідравлічні приводи застосовують для здійснення руху робочих органів різних машин. У машинобудуванні - це гідравлічні приводи в системах автоматичного керування металорізальних верстатів та автоматичних ліній, роботів-маніпуляторів, пресів, технологічних машин металургійної, вугільної, харчової, легкої промисловості тощо.

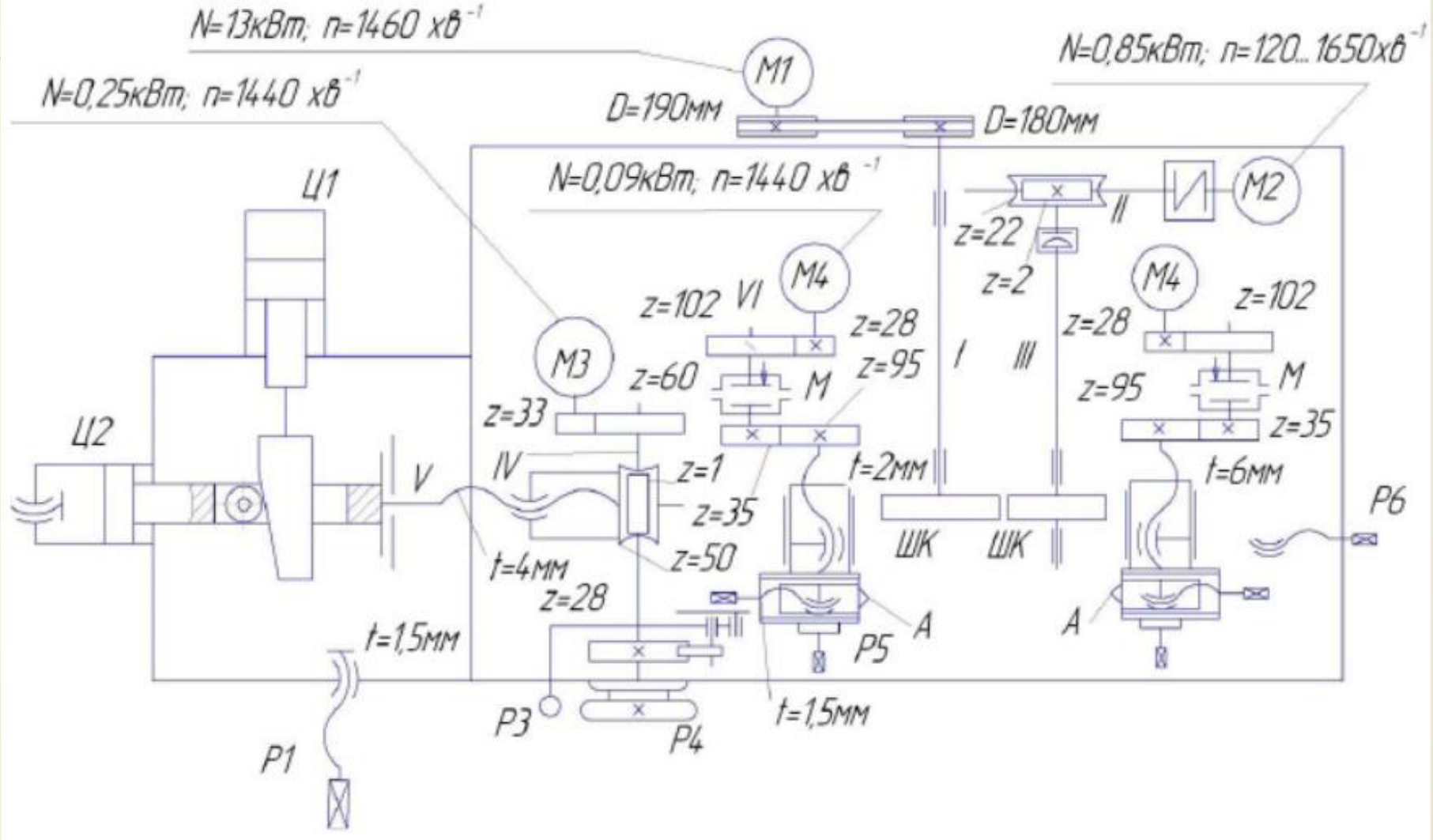


Рис. 2. Кінематична схема верстата з гідроприводами

Пневматичні приводи використовують енергію стисненого повітря і, маючи високу економічну ефективність та експлуатаційну надійність, набувають все більшого поширення в автоматизованих виробництвах, металорізальних верстатах, транспорті, у системах гальмування, пневматичних роботах тощо.

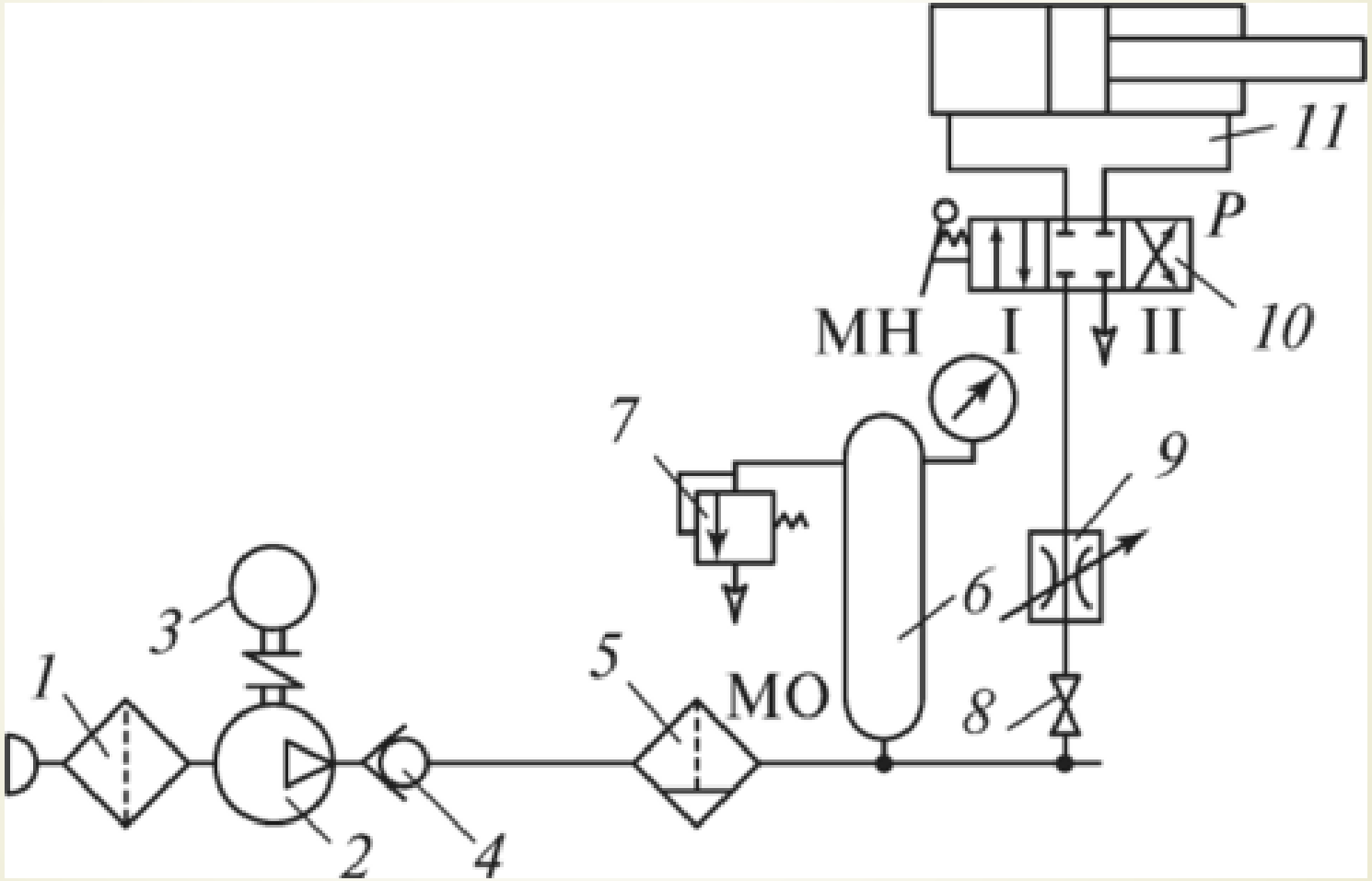


Рис. 3. Схема пневмоприводу поступального руху

Гідравліка.
Рідина та її основні фізичні властивості

Рідина - це фізичне тіло, що має властивість **текучості**, тобто властивість змінювати свою форму під дією навіть дуже малих сил, але на відміну від газів практично не змінювати свій об'єм у разі зміни тиску.

У звичайному стані рідина виявляє **малий опір розриву** і **великий опір стисненню** (має мале стиснення). Водночас рідина виявляє **значний опір відносному руху сусідніх шарів** (має в'язкість). До поняття «рідина» входять як рідини звичайні, що мають назву **краплинні**, так і гази, коли їх можна вважати як суцільне малостиснене легко рухоме середовище.

У гідравліці розглядають лише краплинні рідини. До них належать вода, нафта, гас, бензин, ртуть тощо. **Газоподібні рідини** - повітря та інші гази - у звичайному стані крапель не утворюють. Основна відмінність краплинних рідин полягає у тому, що здебільшого їх розглядають як нестисливі.

Основні фізичні властивості рідини: **густина**, **питома вага**, **температурне розширення**, **об'ємне стиснення** та **в'язкість.**

Основні фізичні властивості рідини

1. **Густина ρ** – відношення маси рідини m до об'єму V, який вона займає:

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

Одиниця густини в системі СІ – кг/м³
Густина води за температури t = 4 °С ρ = 1000 кг/м³.

2. **Питома вага γ**, (Н/м³) – це вага одиниці об'єму рідини, тобто

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

де G - вага рідини в об'ємі V.
Для води за t = 4 °С маємо γ = 9,81 · 10³ Н/м³.

Між питомою вагою γ і густиною ρ є співвідношення: G = mg: γ = ρg.

3. **Температурне розширення** характеризується температурним коефіцієнтом β_t (1/град.) об'ємного розширення, що є відносною зміною об'єму рідини за зміни температури на 1 °С.

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

4. **Об'ємне стиснення** – це зміна об'єму рідини зі зміною тиску. Стиснення характеризують коефіцієнтом стиснення β_p (1/Па):

$$\beta_p = \frac{\Delta V}{V_0}\frac{1}{\Delta p}$$

де ΔV - зміна об'єму рідини; Δр - зміна тиску;
V_0 - початковий об'єм.
Зміну об'єму V зі зміною тиску Δр розраховують за формулою:

$$V_p = V_0\left(1 - \beta p \Delta p\right).$$

5. **Пружність** – це властивість рідини поновлювати свій об'єм після припинення дії сил. Її описує об'ємний модуль пружності Е.
Так для води Е = 2000 МПа = 20000 кг/см², тобто зі зміною тиску на 1 кг/см² об'єм води змінюється лише на 1/20000 частину. Тому вважають при розрахунках, що рідини практично не стисливі. Значення модуля пружності Е враховують лише за дуже великих тисків, великих об'ємів рідини і в разі гідравлічного удару.

6. **В'язкість** – це властивість рідини чинити опір відносному руху (зсуву) її шарів. Ця властивість виявляється в тому, що в рідині під час її руху між шарами виникають дотичні напруження. Під час течії в'язкої рідини вздовж твердої стінки відбувається гальмування потоку, обумовлене в'язкістю.
Швидкість U зменшується в міру зменшення відстані y від стінки:

$$\tau = \mu\frac{du}{dy},$$

де т – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;
du – приріст швидкості, що відповідає приросту координати dy.
Градієнт швидкості du/dy характеризує інтенсивність зсуву рідини в даній точці, коефіцієнт μ – в'язкість краплинних рідин, що має розмірність Н·с/м² (Па·с).

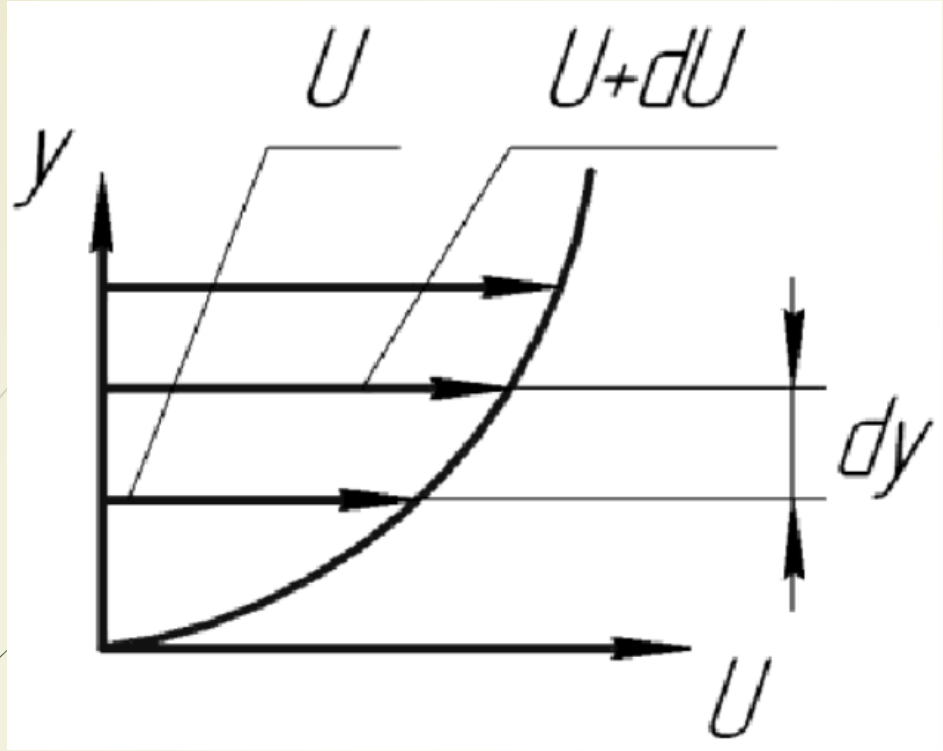


Рис. 4. Розподіл швидкостей за течії в'язкої рідини

На практиці користуються коефіцієнтом кінематичної в'язкості

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

(м²/с).

Для води за t = 4 °C
ν = 1,57 ·10-6 м²/с.
У технічній системі в'язкість вимірюють у см2/с; 1 см²/с називається стоксом (ст) – 1ст = 10-4 м²/с.
Кінематична в'язкість рідини в разі підвищення температури монотонно зменшується. Для практичних розрахунків для визначення в'язкості можна застосовувати формулу:

$$\nu = \nu_0 e^{-\alpha (t - t_0)}$$

де V_o – в'язкість за температури t_o;
α - коефіцієнт, що залежить від температури (наприклад, для мастила α = 0,025…0,035).

У гідравліці для спрощення аналізу Л. Ейлер запропонував поняття ідеальної рідини - умовної нев'язкої рідини, що не стискається і не розширюється, в ній відсутні сили тертя.

Гідростатика.
Сили, що діють на рідину у стані спокою

Гідростатика - це розділ гідравліки, в якому розглядають закони рівноваги рідини та їх практичне застосування.

На рідину в стані спокою діють дві категорії сил: **масові** (об'ємні) та **поверхневі**. Масові сили пропорційні масі рідини – це **сили тяжіння, сили інерції, відцентрові сили.**

Поверхневі сили – це сили, що діють на поверхні рідини (величина їх пропорційна площі поверхні). До поверхневих сил можна віднести **силу тиску поршня, силу атмосферного тиску, силу тиску шарів рідини** та ін.

У гідромеханіці масові й поверхневі сили розглядають як одиничні сили, тобто віднесені до одиниці маси або площі. Сила є добутком маси на прискорення, то одинична масова сила буде дорівнювати прискоренню, а одинична поверхнева сила – напруженню. У рідинах, що перебувають у стані спокою, дотичні напруження будуть дорівнювати нулю.

На рідину в стані спокою з поверхневих сил на нею діють лише сили тиску. Сили тиску на зовнішній поверхні об'єму рідини завжди спрямовані всередину і, отже, є стискальними.

Стискальне напруження, що виникає всередині рідини, яка перебуває у стані спокою, називається **гідростатичним тиском.**

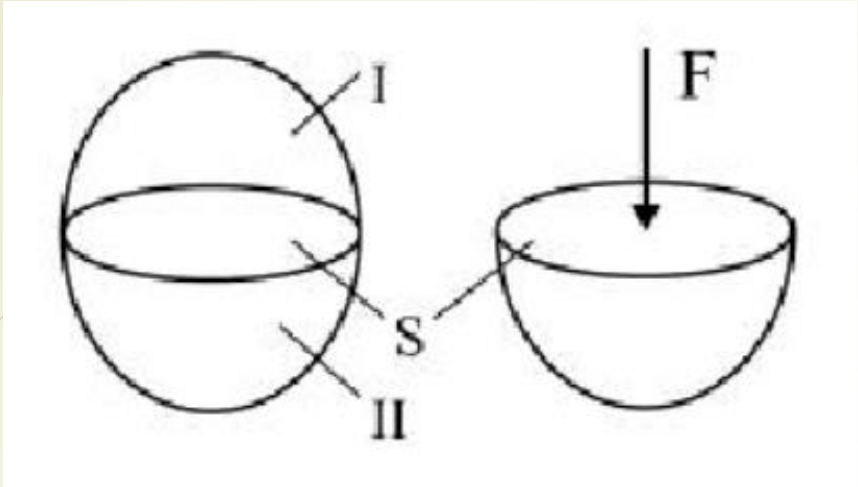


Рис. 5. Схема рівноваги об'єму рідини

Відношення нормальної сили F до площі S, на яку діє ця сила, називається тиском p:

$$p = F/S$$

Гідростатичний тиск має такі властивості:
а) на будь-яку поверхню тиск діє перпендикулярно, тобто по нормалі;
б) значення тиску в будь-якій точці рідини однакові в усіх напрямах.
У системі СІ тиск вимірюють у паскалях (Па), 1 Па = 1 Н/м², у технічній системі застосовують одиницю тиску – технічну атмосферу (ат):
1 ат = 1 кгс / см² = 98100 Н / м² = 98100 Па = 0,1 МПа .

Диференціальні рівняння рівноваги рідини (рівняння Ейлера)

Рівняння дійсні для ідеальної рідини (це умовно нев'язка рідина, що не стискається і не розширюється).

Якщо розглянути умову рівноваги рідини у вигляді довільного елементарного її об'єму(рис. 6) навколо точки А з тиском р.

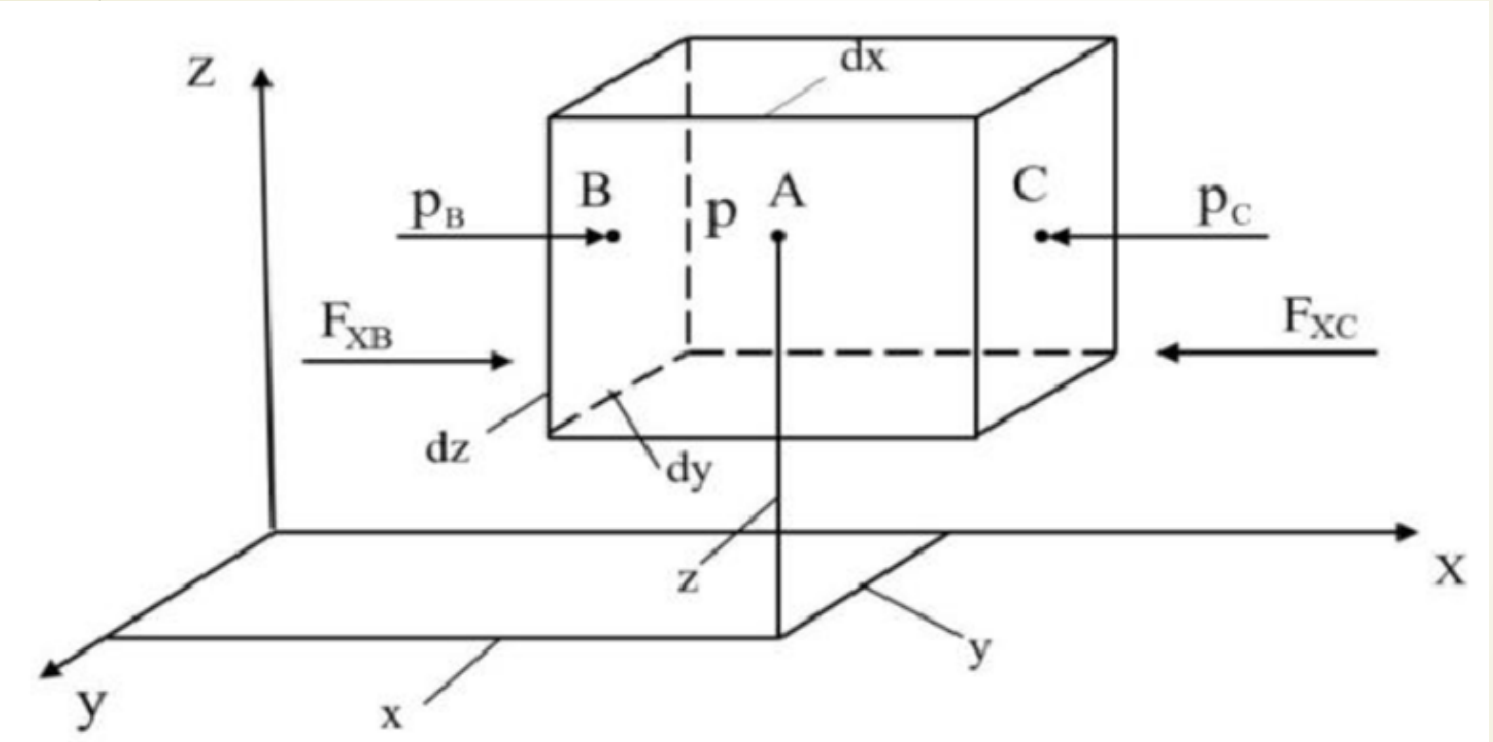


Рис.6. Схема дії сил на елементарний паралелепіпед

Рідина буде зберігати стан спокою або рівноваги за умови, якщо сума проєкцій усіх діючих сил на координатні осі буде дорівнювати нулю.

На паралелепіпед будуть діяти масові сили (сила тяжіння, сила інерції) і поверхневі сили (сили тиску).

X, Y, Z - проєкції одиничних масових сил на координатні осі.
Проекції всіх масових сил на вісь x:

$$dQ_x = Xdm,$$

Маса елементарного об'єму рідини:

$$dm = \rho dxdydz.$$

І відповідно:

$$dQ_x = X\rho dxdydz.$$

Сили гідростатичного тиску, що діє на грані паралелепіпеда визначаються за умови, що в рідкому середовищі тиск змінюється за лінійним законом, залежить від координат цих точок і відомий тиск p у точці A.

Тиск у точці B буде дорівнювати:

$$p_B = p - \frac{dx}{2}\frac{\partial p}{\partial x},$$

де $\frac{\partial p}{\partial x}$ - градієнт (зміна) тиску вздовж осі x.

Тиск у точці C:

$$p_C = p + \frac{dx}{2}\frac{\partial p}{\partial x}.$$

Сили тиску на ліву грань:

$$F_{XB} = dydz\left(p - \frac{dy}{2}\frac{\partial p}{\partial x}\right).$$

Сили тиску на праву грань:

$$F_{XC} = dydz\left(p + \frac{dx}{2}\frac{\partial p}{\partial x}\right)$$

Рівняння рівноваги всіх сил, що проєктуються на вісь x:

$$F_{XB} - F_{XC} + dQ_X = 0.$$

Після підстановки складників:

$$dydz\left(p-\frac{dx}{2}\frac{\partial p}{\partial x}\right)-dydz\left(p+\frac{dx}{2}\frac{\partial p}{\partial x}\right)+X\rho dxdydz=0.$$

Для інших вісей аналогічно.
Система рівнянь для трьох координат і їх розділення на $\rho\cdot dx\cdot dy\cdot dz$

та перетворення матиме вигляд диференціальних рівнянь рівноваги рідини (рівняння Ейлера):

$$X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=0;$$

$$Y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}=0;$$

$$Z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}=0.$$

Для практичного користування необхідно замість системи рівнянь одержати одне еквівалентне їм рівняння.
Для цього кожне рівняння множиться відповідно на dx, dy, dz і після їх складання:

$$Xdx+Ydy+Zdz-\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx+\frac{\partial p}{\partial y}dy+\frac{\partial p}{\partial z}dz\right)=0.$$

Вираз у дужках цього рівняння – повний диференціал тиску (dp).
Тоді основне диференціальне рівняння рівноваги рідини матиме вигляд:

$$dp=\rho\left(Xdx+Ydy+Zdz\right).$$