

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ
РІДИНИ ЗА МЕТОДОМ СТОКСА****Роботу виконав:** студент(ка)_____
(прізвище, ім'я, по-батькові)_____
(курс, група)

»____» _____ 20 р.

Роботу прийняв:_____
(прізвище та ініціали викладача)_____
(посада)**Оцінка:**за знання теорії _____
(оцінка, бал)за провед. експер. _____
(оцінка, бал)підсумкова _____
(оцінка, бал)_____
(дата і підпис викладача)

Лабораторна робота № 11

**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА В'ЯЗКОСТІ
РІДИНИ ЗА МЕТОДОМ СТОКСА**

Мета роботи: вивчення явища внутрішнього тертя в плинних середовищах, експериментальне визначення коефіцієнта в'язкості рідини.

Прилади і матеріали: лабораторна установка для визначення коефіцієнта в'язкості рідини за методом Стокса.

Теоретичні відомості

Реальним плинним середовищам – зокрема рідинам та газам – притаманна в'язкість або внутрішнє тертя. В'язкість – це властивість плинних середовищ чинити опір зсувові (руху одних шарів середовища відносно інших, сусідніх з ними). В рідинах в'язкість зумовлена силами зчеплення між молекулами, в газах – зіткненнями молекул один з одним. Саме тому з підвищенням температури в'язкість рідин зменшується, а в'язкість газів збільшується.

Розглянемо уявний експеримент: між двома паралельними пластинами 1 і 2 знаходиться рідина (рис. 1). Нижня пластина 1 є нерухомою, а верхня пластина 2 рухається вправо відносно нижньої пластини 1 зі сталою швидкістю v . Шари рідини, які безпосередньо прилягають до

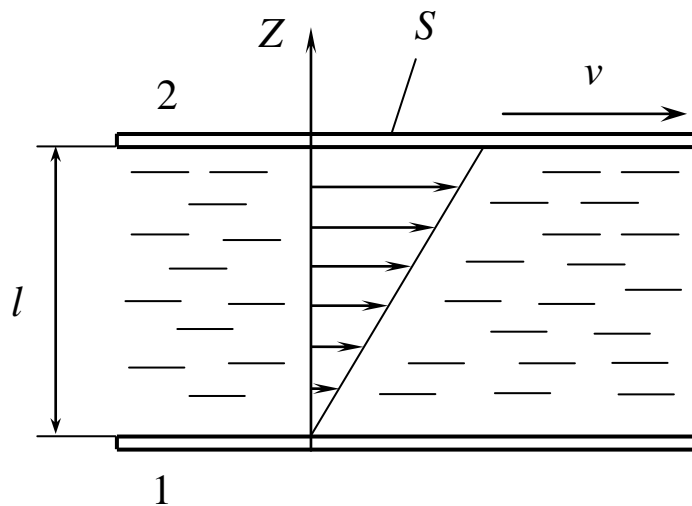


Рис. 1

пластин, утримуються на них силами адгезії, що діють між молекулами рідини та молекулами речовини пластин. Тому верхній шар рідини рухається зі швидкістю v відносно нижньої пластини

1, а нижній шар рідини є нерухомий. Очевидно, що нижній шар рідини гальмує при цьому рух сусіднього з ним шару, що знаходиться вище нього, той в свою чергу гальмує рух наступного сусіднього шару і т.д. При цьому швидкість руху шарів рідини змінюється вздовж осі Z від 0 до v .

Для підтримування руху пластини 2 зі сталою швидкістю до неї необхідно прикласти деяку силу F в напрямку, паралельному осі Y (див. рис. 1). Для кожної конкретної рідини, як відомо з експерименту, ця сила є прямо пропорційною швидкості v руху пластини 2 та її площі S , і обернено пропорційною відстані між пластинами l . Отже, можна записати:

$$F \sim S \frac{v}{l}. \quad (1)$$

Це співвідношення для двох сусідніх шарів має вигляд:

$$F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S, \quad (2)$$

де ΔS – площа їх дотику, $\frac{dv}{dz}$ – градієнт швидкості рідини. Він

показує, як різко змінюється модуль швидкості рідини v вздовж осі Z .

Коефіцієнт пропорціональності η називається коефіцієнтом в'язкості плинного середовища. Чисельно він дорівнює силі F , яка діє між двома сусідніми шарами рідини з площею дотику $\Delta S = 1 \text{ м}^2$ при градієнті швидкості цих шарів, рівному одиниці:

$$\eta = \frac{F}{\left(\frac{dv}{dz}\right) \Delta S}. \quad (3)$$

Коефіцієнт в'язкості характеризує властивості даного плинного середовища, оскільки при однакових умовах – однакових градієнті та площі дотику ΔS – сила F залежить тільки від роду середовища.

Одиниця вимірювання коефіцієнта в'язкості в СІ – паскаль-секунда:

$$[\eta] = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

В даній роботі в'язкість рідини визначається за методом Стокса, який ґрунтується на експериментальному дослідженні руху тіл в плинних середовищах. Коли довільне тіло рухається в такому середовищі (рідині чи газі), на нього діє з боку середовища сила, яка називається силою лобового опору. Вона виникає завдяки в'язкості середовища, а при дуже великих швидкостях руху рідини – внаслідок турбулентності (бурхливості рідини чи газу) позаду тіла. Таким тілом може бути тепловоз, що рухається, або підводний човен. Якщо потік середовища, який обтікає тіло, є ламінарним, тобто плавним (це відбувається при малих швидкостях руху рідини), сила в'язкого тертя F_v є прямо пропорційною швидкості руху тіла v :

$$F_v = k v. \quad (4)$$

Коефіцієнт пропорційності k залежить від розмірів та форми тіла, а також від в'язкості η середовища. Зокрема, для сфери радіуса r , як було шляхом розрахунків доведено Стоксом,

$$k = 6\pi\eta r. \quad (5)$$

Лабораторна установка для визначення коефіцієнта в'язкості рідини за методом Стокса (рис. 2) складається з скляної вертикальної труби 1, закритої з нижнього кінця, наповненою рідиною 2, розміщеної в корпусі 3. На корпусі зроблені дві позначки 4 на відстані D одна від одної. Лабораторний експеримент полягає у визначенні швидкості рівномірного руху кульки в рідині.

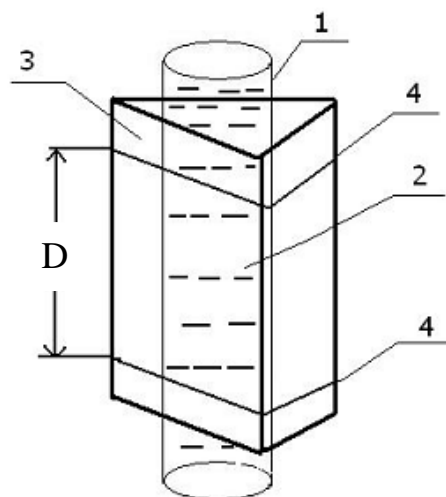


Рис. 2

Якщо в трубу опустити металеву кульку, вона буде рухатися вниз. При цьому на кульку будуть діяти сили, зображені на

рис. 3:

1. сила тяжіння F_g

$$F_g = m g = \rho V g, \quad (6)$$

де m , ρ , V – відповідно маса, густина та об'єм кульки, g – прискорення вільного падіння;

2. сила в'язкого тертя

$$F_v = 6\pi r \eta v, \quad (7)$$

де r , v – відповідно радіус та швидкість кульки;

3. сила Архімеда

$$F_A = \rho_p V g, \quad (8)$$

де ρ_p – густина рідини.



Рис. 3

Кулька у рідині буде рухатись спочатку прискорено. Сила в'язкого тертя при цьому буде зростати, поки векторна сума сил, що діють на кульку (рис.3), не перетвориться на нуль, тобто:

$$F_g - F_A - F_v = 0. \quad (9)$$

Після цього кулька рухатиметься рівномірно. Верхню позначку 4 вона перетинатиме маючи постійну швидкість.

Підставляючи у (9) рівняння (6) – (8) і враховуючи, що об'єм кульки $V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3$ ($d = 2r$ – діаметр кульки), одержимо:

$$\rho \cdot \frac{1}{6}\pi d^3 \cdot g = \rho_p \cdot \frac{1}{6}\pi d^3 \cdot g + 3\pi d \eta v.$$

Звідси маємо для коефіцієнта в'язкості рідини рівняння:

$$\eta = \frac{1}{18} g d^2 \frac{\rho_k - \rho_p}{v}. \quad (10)$$

Швидкість v можна визначити як відношення відстані D між кільцевими позначками 4 до часу t руху кульки між ними:

$$v = \frac{D}{t},$$

Рівняння (10) набуває вигляду:

$$\eta = \frac{gt(\rho - \rho_p)d^2}{18D}. \quad (11)$$

Послідовність виконання роботи

1. Накреслити таблицю вимірюваних величин за зразком, наведеним у табл. 11.1.
2. За допомогою мікрометра визначити діаметр кульки d .
3. Опустити кульку в трубку з рідиною і за допомогою секундоміра визначити час руху кульки між кільцевими позначками.
4. Повторити дослід три рази з кульками різних діаметрів.
5. Згідно з формулою (11) розрахувати коефіцієнт в'язкості рідини (відстань D між позначками дана на установці).
6. Проаналізувати результати і зробити висновки.
7. Підготувати відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Дати визначення коефіцієнта в'язкості рідини.
2. Пояснити механізм внутрішнього тертя в газах та рідинах.
3. Чому з підвищенням температури в'язкість газів збільшується, а в'язкість рідин зменшується?
4. Як визначається градієнт швидкості? Що він показує?
5. Дайте формулювання закону Архімеда. Сформулюйте умову плавання тіла в рідині.
6. Дати означення сили тяжіння. Що таке вага тіла?
7. Чому дорівнює сила в'язкого тертя, що діє на кульку в рідині?

8. Сформулюйте умову, при якій кулька в експерименті рухатиметься в рідині рівномірно.
9. Як зміняться напрямки сил, діючих на кульку в рідині, якщо вона буде рухатися вгору?
10. Виведіть формулу для визначення коефіцієнта в'язкості, яку ви застосували в даній роботі.

Звіт за виконану роботу

1. Робоча формула:

$$\eta = \frac{gt(\rho - \rho_p)d^2}{18D} - \text{коефіцієнт в'язкості рідини.}$$

- 1.1 Величини, що вимірюються:

$$d - \text{діаметр кульки,} \quad [d] = \text{м;}$$

$$t - \text{час руху кульки,} \quad [t] = \text{с.}$$

- 1.2 Табличні величини:

$$g = 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

$$\rho_p = 0.95 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$\rho_{\text{сталі}} = 7.8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

$$\rho_{\text{свинця}} = 11.3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

- 1.3 Величини, що обчислюються:

$$\eta - \text{коефіцієнт в'язкості,} \quad [\eta] = \text{Па} \cdot \text{с.}$$

2. Результати експерименту:

Таблиця 11.1

№ дослід	ρ	d	t	D
	кг/м ³	м	с	м
1				
2				
3				

Результати експерименту підтверджую

_____ (дата й підпис викладача)

3. Обробка результатів експерименту:

$$\eta_i = \frac{gt(\rho_i - \rho_p)d^2}{18D} = \quad , \quad (i=1, 2, 3),$$

$$\langle \eta \rangle = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = \quad .$$

4. Висновки: _____

