

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
“Технічна механіка рідин та газів” для студентів
напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво”
всіх форм навчання

Вінниця ВНТУ 2009

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
“Технічна механіка рідин та газів” для студентів
напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво”
всіх форм навчання

Затверджено Методичною радою Вінницького національного технічного університету як методичні вказівки для студентів напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво” всіх форм навчання. Протокол № 6 від 19 лютого 2009 р.

Вінниця ВНТУ 2009

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технічна механіка рідин та газів” для студентів напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво” всіх форм навчання. /Уклад. І. В. Коц, О. П. Колісник, К. В. Бауман - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 44 с.

Рекомендовано до видання Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Дані методичні вказівки до виконання лабораторних робіт розроблені відповідно до вимог, викладених в навчальній програмі з дисципліни “Технічна механіка рідин та газів” для студентів напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво”. Основне завдання лабораторних робіт – допомогти студентам набути практичних навичок застосування теоретичних знань для вирішення конкретних технічних задач з механіки рідин та газів, гідро- і газодинаміки в елементах теплоенергетичного, тепло- і газопостачального технічного устаткування.

Укладачі: Іван Васильович Коц
Олена Петрівна Колісник
Катерина Володимирівна Бауман

Редактор В. О. Дружиніна
Коректор З. В. Поліщук

Відповідальний за випуск зав. каф. Г. С. Ратушняк

Рецензенти: В. О. Пішенін, кандидат технічних наук доцент
О. В. Березюк, кандидат технічних наук доцент

Зміст

Лабораторна робота №1. Прилади для вимірювання тиску рідин та газів	4
Лабораторна робота №2. Фізичні властивості рідини. Дослідження в'язкості рідини	11
Лабораторна робота №3. Дослідження рівняння Бернуллі для крапельних рідин	16
Лабораторна робота №4. Дослідження режимів руху рідин	23
Лабораторна робота №5. Визначення коефіцієнта Шезі	28
Лабораторна робота №6. Визначення коефіцієнтів місцевих опорів	33
Література	37
Додатки	38

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Прилади для вимірювання тиску рідин та газів

Мета роботи

1. Ознайомлення з основними одиницями та приладами для вимірювання тиску рідин та газів.
2. Отримання практичних навичок в користуванні приладами для вимірювання тиску.
3. Експериментальне знаходження тиску у заданому об'ємі рідини чи газу за допомогою різних спеціальних приладів.
4. Ознайомлення з методами визначення точності приладів для вимірювання тиску. Абсолютна, відносна і приведена похибки вимірювань.
5. Ознайомлення з поняттям клас точності манометра та принципами позначення різних типів манометрів.

Загальні відомості

Прилади для вимірювання тиску у рідині чи газі класифікують за різними ознаками.

За принципом дії: рідинні, газові, пружинні, поршневі, мембранні, електричні, комбіновані, та інші.

За характером вимірювання величини:

- для вимірювання: атмосферного тиску (барометри), вакууму (вакуумметри), надлишкового тиску (манометри), абсолютного тиску (манометри абсолютного тиску), різниці тисків у двох точках (диференціальні манометри), малих надлишкових тисків (мікроманометри).

Рідинні прилади. Ртутний барометр (рис. 1.1) складається з відкритої чаші, заповненої ртуттю, і скляної трубки, верхній кінець якої запаяний, а нижній опущений під рівень ртуті. Повітря з трубки попередньо відкачують, внаслідок чого трубка заповнюється ртуттю під силою атмосферного тиску на висоту h . Для відліку цієї висоти є лінійна шкала. Найпростішим рідинним манометром є п'єзометр.

U - подібний рідинний манометр. Це U-подібна скляна трубка, заповнена до певного рівня робочою рідиною. Кінець одного коліна приєднаний до місця вимірювання, а кінець другого або відкритий і сполучений з атмосферою, або з нього відкачане повітря і він запаяний. У манометрах із запаяним кінцем різниця рівнів рідини в обох колінах дає абсолютний тиск у міліметрах робочої рідини.

Для вимірювання різниці тисків у двох точках застосовують диференціальні манометри (рис. 1.2). Якщо рідина в резервуарах має однакову густину, то різницю тисків у двох точках ($p_1 - p_2$), розташованих на однакових висотах, визначають за формулою

$$\Delta p = \Delta h g \cdot (\rho_p - \rho), \quad (1.1)$$

де ρ_p - густина робочої рідини.

Для більшої точності при вимірюванні малих тисків застосовують ртутно-чашкові мікроманометри (рис. 1.3), манометри з похилою трубкою і накладною шкалою.

Показанням такого приладу є величина p , яка вимірюється зміщенням рідини в трубці:

$$p = \rho_p \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha . \quad (1.2)$$

де ρ_p - густина робочої рідини,

l – висота підняття рідини в похилій трубці,

α – кут нахилу похилої трубки.

Точність приладу зростає при зменшенні кута α .

Завдяки простоті будови, високій точності вимірювань, стабільності показів рідинні прилади широко застосовують у лабораторній практиці. Основним недоліком їх є вузькість діапазону вимірюваних тисків, ламкість скляних трубок, необхідність застосовувати ртуть для збільшення діапазону вимірювань. Там, де треба вимірювати великі тиски, застосовують металеві манометри.

Металеві манометри. Металеві манометри виготовляють двох типів: пружинні і мембранні (рис. 1.4). Принцип дії манометра такий. Із місця вимірювання тиску в зігнуту латунну трубку із запаяним кінцем через відкритий кінець її надходить рідина. Під дією тиску рідини трубка (пружина) частково розпрямляється (в манометрі) або більше згинається (в вакуумметрі). Через зубчасту передачу зміна положення кінця трубки передається стрілці приладу, яка показує на градуйованій шкалі величину тиску.

Основним елементом мембранного манометра є латунна або сталеві пластинка (мембрана), що затиснута поміж двома фланцями приладу і зв'язана передаточним зубчастим механізмом із вказівною стрілкою. При тискові середовища знизу мембрана вигинається вгору, діючи через передавальний механізм на стрілку і заставляє її повертатися на циферблаті вправо. Цей прилад, як і пружинний манометр, показує надлишковий тиск середовища.

Межі допустимих похибок при вимірюванні тиску манометром виражаються відповідно до ГОСТ 13600-88 в абсолютних, відносних або приведених величинах.

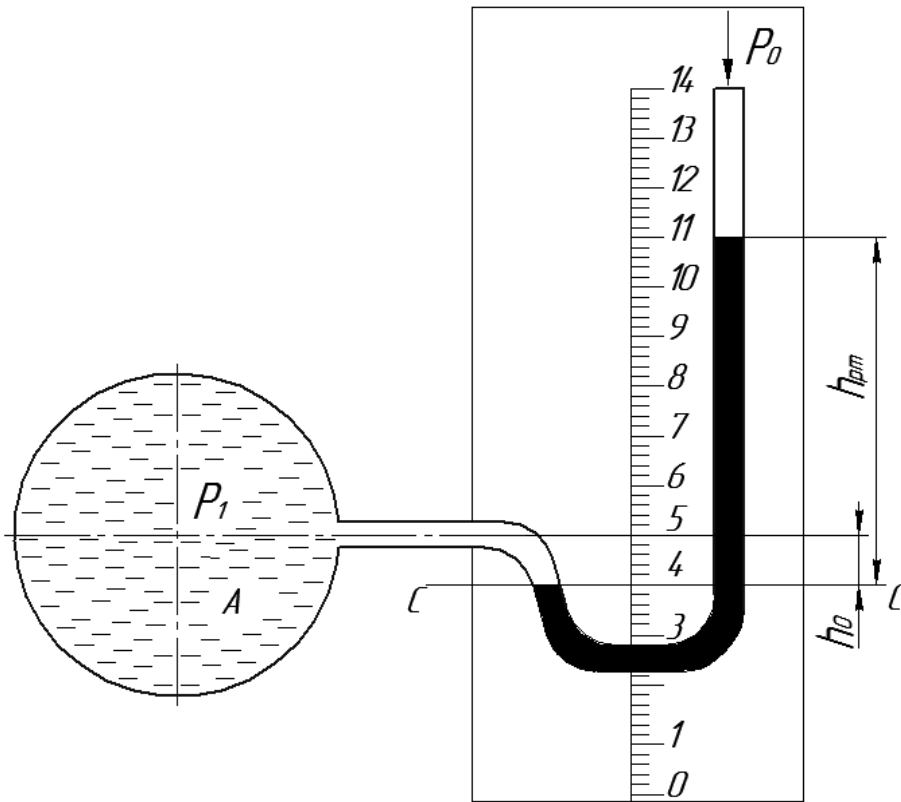


Рисунок 1.1 – Схема рідинного манометра

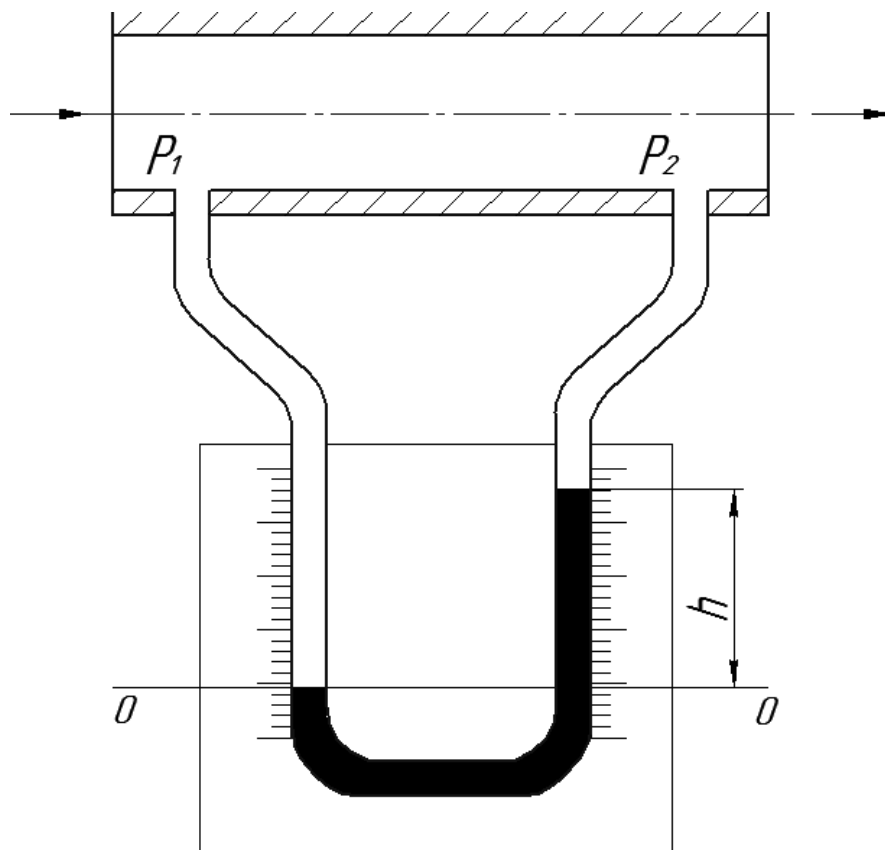
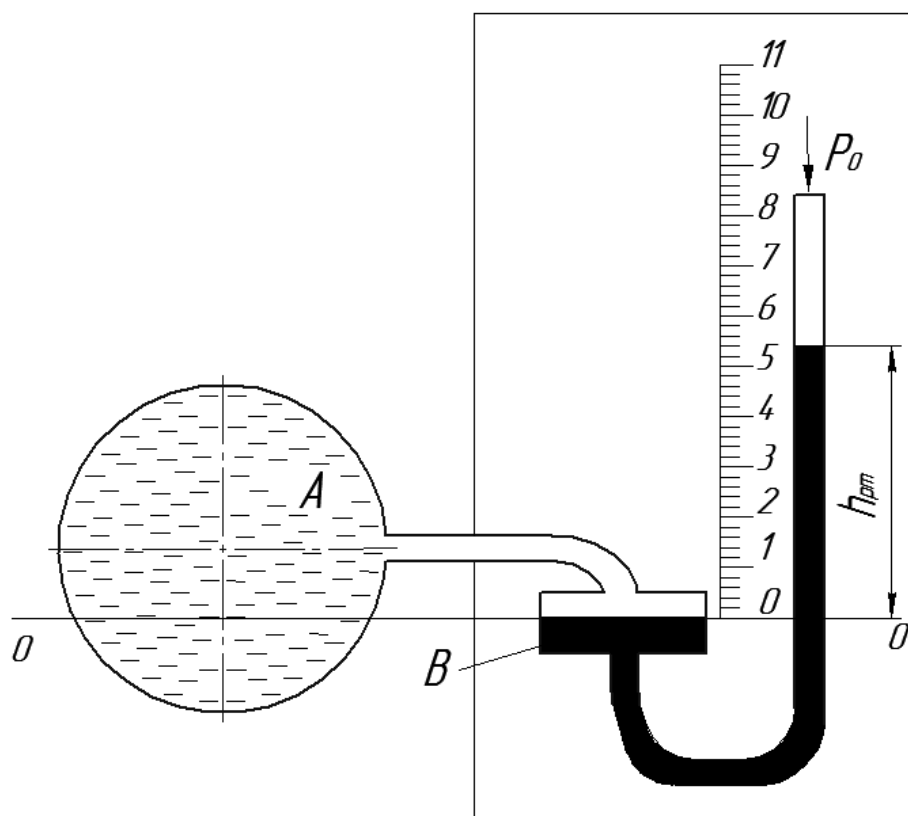
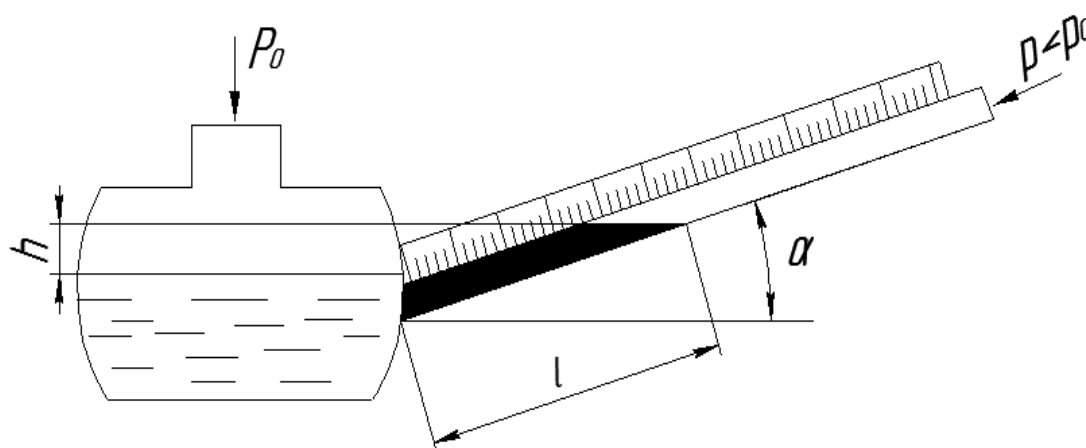


Рисунок 1.2 – Схема диференціального манометра



а)



б)

Рисунок 1.3 – Схема мікроманометрів: а) ртутно-чашковий манометр, б) манометр з похилою трубкою і накладною шкалою

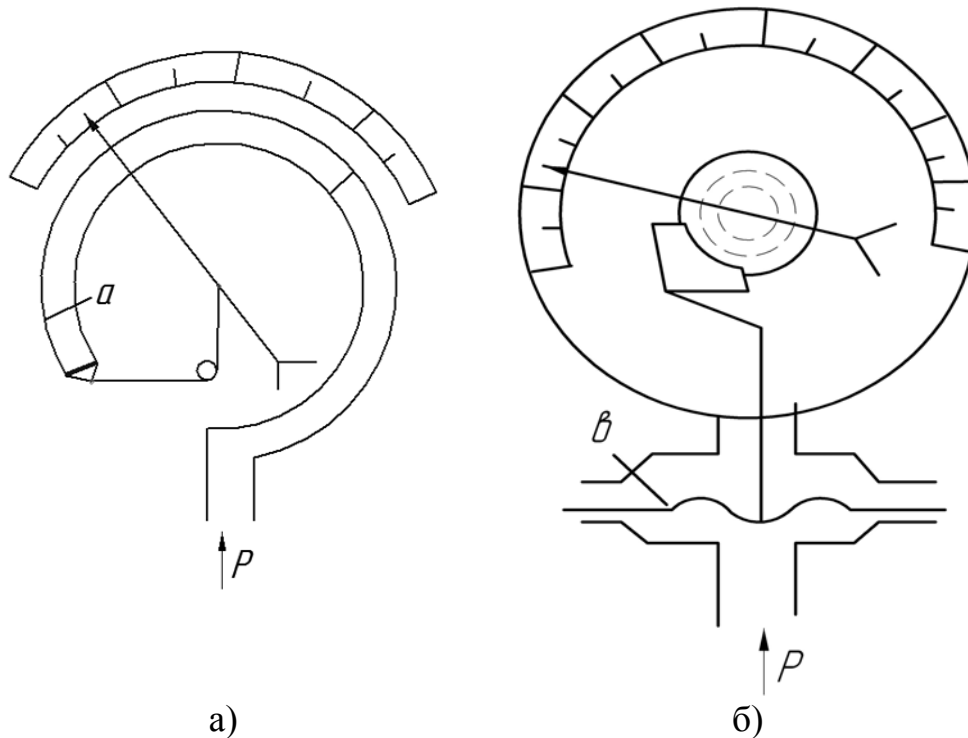


Рисунок 1.4 – Схема металевих манометрів:
а) пружинний, б) мембранний

Абсолютна похибка Δ являє собою різницю між показами манометра і істинним (дійсним) значенням і виражається в одиницях вимірювання тиску. Абсолютна похибка характеризує відхилення як у сторону збільшення, так і в сторону зменшення показів у порівнянні із істинним значенням:

$$\Delta = \pm \alpha, \quad (1.3)$$

де α - постійна величина.

Відносна похибка визначається за формулою

$$\delta = \pm 100 \Delta / x, \quad (1.4)$$

приведена похибка - визначається за формулою

$$\gamma = \pm 100 \Delta / x_n, \quad (1.5)$$

де x – дійсне (виміряне) значення величини;

x_n – нормуюче значення.

Нормуюче значення - для манометрів і вакуумметрів встановлюється рівним кінцевому значенню робочої частини шкали, для мановакуумметрів - сумі кінцевих значень манометричної та

вакуумметричної частини шкали (практично до кінцевого значення манометричної частини шкали додається 10^5 Па (1 кг/см²)).

Клас точності манометра визначає допустиму приведену похибку і чисельно дорівнює їй. Для кожного манометра допустима абсолютна похибка Δ однакова для всього діапазону вимірювань і залежить від класу точності приладу і кінцевого значення шкали, а відносна похибка δ зменшується із збільшенням вимірюваної величини x . А тому працювати на початковій ділянці шкали недоцільно, тому що при певному класі точності манометра абсолютна і відносна похибки, за якими оцінюється точність вимірювань, будуть тим менші, чим менші кінцеві значення шкали манометра. Так, наприклад, при вимірюванні тиску 4 МПа (40 кг/см²) манометром класу точності 1 і при кінцевому значенні шкали 6 МПа (60 кг/см²) допустимі похибки $\Delta = 0,06$ МПа ($0,6$ кг/см²) і $\delta = 1,2$ %, а при кінцевому значенні шкали 16 МПа (160 кг/см²) - $\Delta = 0,16$ МПа ($1,6$ кг/см²) і $\delta = 4$ %. В останньому випадку отримана низька точність вимірювань, яка відповідає манометру досить низького 4 класу точності із кінцевим значенням шкали 4 МПа (40 кг/см²).

Відповідно до ГОСТ 2405-82 зміна показів приладів в залежності від температури навколишнього повітря не повинна перевищувати значень, визначених за формулою

$$\gamma_t = \pm [\gamma + 0,04(t_2 - t_1)], \quad (1.6)$$

де γ – приведена похибка при температурі t_2 ;

t_2 – будь-яке значення температури в межах діапазону експлуатаційних температур для даного приладу;

t_1 – будь-яке значення температури в межах діапазону, обумовленого для визначення основної похибки приладу;

різниця $(t_2 - t_1)$ враховується за абсолютним значенням.

Основну похибку і варіацію показів манометрів визначають за ГОСТ 15614-80, зразкових - за ГОСТ 8.161-85. При визначенні основної похибки температура t_1 навколишнього повітря повинна бути $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ - для приладів класу точності $0,4$ та $0,6$; $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ - для приладів класу точності 1 ; $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ - для приладів класу точності $1,5$; $2,5$ і 4 .

Обладнання

Демонстраційні плакати із схемами приладів, діючі зразки приладів для вимірювання тиску (барометри, п'езометри, диференціальні манометри, чашкові мікроманометри, пружинні та мембранні манометри).

Хід виконання роботи

1. Перед початком роботи ознайомитись з будовою приладів для

визначення тиску у замкнених об'ємах рідин та газів.

2. За допомогою наданих викладачем приладів визначити тиск у рідинних та газових середовищах, отримані дані занести в таблицю 1.1.

3. Використовуючи вищенаведені формули та додаток А визначити значення абсолютних, відносних та приведених похибок.

4. Розрахунки звести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Таблиця результатів

Показники	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
Дійсне (виміряне) значення величини	x	кг/см ²		
		Па		
Нормуюче значення	x_n	кг/см ²		
		Па		
Температура приміщення	t_2	°С		
Значення температури в межах діапазону, обумовленого для визначення основної похибки приладу	t_1	°С		
Відносна похибка	δ	%		
Приведена похибка	γ	%		
Залежність похибки при вимірюванні тиску манометрами від температури навколишнього повітря	γ_t			

Контрольні запитання

1. В яких одиницях вимірюється тиск?
2. Які способи і прилади вимірювання тиску у рідині вам відомі?
3. Які принципи дії покладаються в основу роботи приладів для вимірювання тиску?
4. Охарактеризуйте рідинні прилади для вимірювання тиску.
5. Охарактеризуйте відомі вам види металевих манометрів.
6. Що таке абсолютна, відносна та приведена похибки манометрів? Які формули застосовуються для їх розрахунків?
7. Як залежать похибки при вимірюванні тиску манометрами від температури навколишнього повітря?
8. Що таке клас точності манометра? Наведіть приклади.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Фізичні властивості рідини. Дослідження в'язкості рідини

Мета роботи

1. Засвоїти такі фізичні параметри (характеристики) рідини, як:
 - питома вага;
 - густина;
 - стисливість;
 - в'язкість.
2. Користуючись віскозиметром Енглера, розрахувати коефіцієнти кінематичної в'язкості досліджуваних рідин.
3. За додатком Б визначити рідини, що досліджувалися.

Загальні відомості

Рідиною називається фізичне тіло, здатне зберігати об'єм, але не здатне самостійно зберігати форму. Перша властивість наближає рідину до твердого тіла, друга – до газу. Наведені властивості не є абсолютними. Рідини під дією тиску змінюють свій об'єм, хоча і значно менше ніж газу. Всі рідини чинять опір зміні форми, переміщенню однієї частини об'єму відносно іншої, хоча й менше ніж тверді тіла.

Рідини поділяють на два класи:

- стисливі рідини або газоподібні (гази).
- дуже малостисливі рідини або краплинні рідини.

Газу заповнюють увесь наданий їм об'єм; не утворюють вільної поверхні; легко змінюють об'єм під час розширення або стиснення; чинять дуже малий опір зсуву (малов'язкі) і майже не протидіють розтягуванню.

Краплинні рідини утворюють вільну поверхню; майже не змінюють свого об'єму при деформаціях; чинять дуже великий опір стисненню і невеликий – зсуву; майже не протидіють розтягуванню.

Якщо не змінюється об'єм чи температура, поведінка газу, який заповнює той же простір і не має вільної поверхні, якісно майже не відрізняється від поведінки краплинної рідини.

У цих випадках закони будуть одночасно справедливими як для краплинних, так і для газоподібних рідин. Отже, під рідиною в широкому розумінні цього слова розуміють краплинні рідини й газу.

В інженерних розрахунках, а також для розв'язання ряду практичних задач, пов'язаних із гідравлічними та аеродинамічними машинами, необхідно знати такі фізичні параметри (характеристики) рідини: питому вагу, в'язкість, густину, стисливість, теплове розширення тощо.

Питома або об'ємна вага - це вага одиниці об'єму рідини. Для однорідних рідин її визначають за формулою

$$\gamma = G/W, \quad (2.1)$$

де G – вага рідини, Н;
 W – об'єм рідини, м³;
 γ - питома вага, Н/м³.

Густина – це маса рідини в одиниці об'єму. Для однорідної рідини, маса якої рівномірно розподілена по її об'єму, густину визначають відношенням маси рідини до її об'єму.

Між густиною та питомою вагою існує залежність:

$$\gamma = \rho \cdot g. \quad (2.2)$$

Інколи в техніці використовують відносну густину.

Відносною густиною називається відношення густини даної рідини до густини води при температурі 277 °К (4 °С):

Густина рідини дещо змінюється зі зміною температури та тиску. Вона, як правило, збільшується з підвищенням тиску. Всі рідини, крім води, характеризуються зменшенням густини зі збільшенням температури. Густина води найбільша при $t=4$ °С (277 °К) та вона зменшується як із зменшенням, так і збільшенням температури від цього значення. В цьому проявляється одна з аномальних властивостей води.

Густина газу зменшується з підвищенням температури. Для так званих досконалих (ідеальних) газів залежність густини від температури визначається рівнянням Клапейрона

$$\rho = \frac{p}{gRT}, \quad (2.3)$$

де p – тиск, Н/м²;

g – прискорення сили земного тяжіння м/с²;

R – універсальна газова стала для повітря $R = 287$ Дж/кг К;

T - абсолютна температура, яка дорівнює (273,15 + t °С), К⁰.

Стисливість - властивість рідини змінювати свій об'єм під дією тиску. Стисливість оцінюється коефіцієнтом об'ємної стисливості, який показує відносну зміну об'єму на одиницю тиску:

$$\beta_v = -\frac{dW}{W_0} \cdot \frac{1}{dp}, \text{ м}^2/\text{Н}, \quad (2.4)$$

де W_0 – початковий об'єм;

dW – елементарна зміна об'єму;

dp – елементарна зміна тиску.

При розв'язуванні звичайних гідравлічних задач краплинні рідини вважають нестисливими. Однак, у задачах, де рідина буде під значним тиском, виникає потреба вводити поправку на її стисливість.

На відміну від краплинних рідин, гази зазнають сильного стискання, внаслідок чого густина і питома вага їх залежать від тиску.

В'язкість рідини – це властивість рідини чинити опір взаємному переміщенню частинок, тобто зміні форми чи об'єму рідини. Вона обмежує текучість і проявляється переважно як опір силам зсуву, а також як опір силам розтягу.

В'язкість у краплинних рідинах зумовлена взаємним притяганням молекул, а в газоподібних – обміном молекул між шарами під час їх руху (переміщення) із шару в шар. Із підвищенням температури в рідині посилюється молекулярний рух, порушуються зв'язки між молекулами і в'язкість її зменшується, а в газах – навпаки, в'язкість зростає. Вона проявляється тільки під час руху рідини. В'язкість рідини – властивість, протилежна текучості. Більш в'язкі рідини менш текучі й навпаки.

В'язкість - це основна ознака, якою реальна рідина відрізняється від ідеальної (такої умовної рідини, у якої в'язкість відсутня). Для більшості рідин в'язкість є фізичною константою, яка змінюється для даної рідини тільки зі зміною температури та тиску і не залежить від швидкості руху рідини. В'язкість рідини характеризується двома коефіцієнтами в'язкості: динамічним і кінематичним. З підвищенням температури в'язкість газів збільшується відповідно до співвідношення

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T - 273}{273} \right)^n, \frac{Hc}{m^2}, \quad (2.5)$$

де $n = 0,76$ - для повітря;

μ – в'язкість при нормальній температурі.

В'язкість крапельних рідин, як правило, з підвищенням температури зменшується.

Величину, обернену до динамічного коефіцієнта в'язкості, називають **текучістю**.

Для практичних розрахунків замість динамічного коефіцієнта в'язкості зручніше використовувати кінематичний коефіцієнт в'язкості. Він визначається відношенням коефіцієнта динамічної в'язкості до густини рідини

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2.6)$$

Відомо, що $\rho = \gamma/g$, тоді наближено $\nu = \mu g/\gamma$.

Значення кінематичної в'язкості для деяких рідин при температурі 20 °С наведено в додатку Б.

Обладнання

Тривалий час основним приладом для визначення в'язкості був віскозиметр Енглера, за допомогою якого значення в'язкості визначають в умовних градусах Енглера (див. рис.2.1).

Градус Енглера (°E) - це відношення часу витікання з приладу 20 см³ досліджуваної рідини до часу витікання такого ж об'єму води при температурі 20 °С.

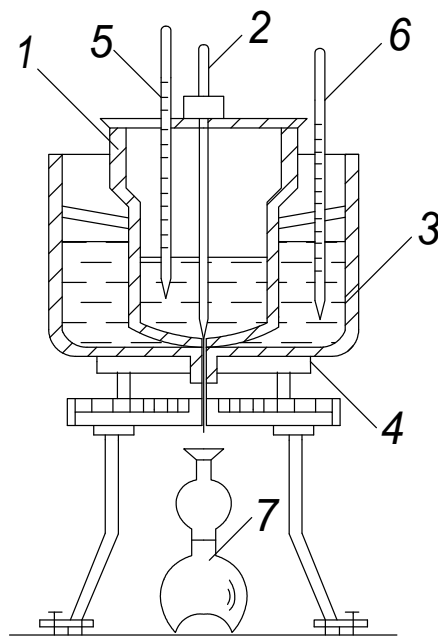


Рисунок 2.1 - Віскозиметр Енглера

Основною частиною цього приладу є латунний резервуар із сферичним дном 1, в центрі якого влаштований отвір. За допомогою стержня 2 отвір перекривається. Резервуар 1 розміщений у водяній бані 3, що підігрівається за допомогою нагрівача 4. Температура досліджуваної рідини в резервуарі 1 та води у водяній бані 3 визначається за допомогою термометрів 5 та 6, відповідно. При відкритті отвору рідина з резервуара 1 стікає в ємність 7.

Хід виконання роботи

1. Залити в резервуар 1 20 см³ досліджуваної рідини, потім за допомогою нагрівача 4 і водяної бані 3 нагріти рідину до температури 20 °С. За процесом зміни температури слідкують за допомогою термометрів 5 і 6. Підіймаючи стержень 2, визначити термін витікання досліджуваної рідини через калібрований отвір у ємність 7.

2. В такій самій послідовності розрахувати час витікання дистильованої води через калібрований отвір у ємність 7.

3. За формулою (2.7) визначити в'язкість досліджуваної рідини в умовних градусах Енглера.

$$E^0 = \frac{t_p}{t_e}. \quad (2.7)$$

4. Кінематична в'язкість через градус Енглера розраховується за формулою Убелоді

$$\nu = (0,0731 \cdot E^0 - \frac{0,0631}{E^0}) \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{/с)}. \quad (2.8)$$

5. За додатком Б для розрахованого значення кінематичної в'язкості визначити досліджувану рідину.

6. Виміряні та розраховані дані занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди		
			1	2	3
1. Температура досліджуваної рідини	t	$^{\circ}\text{C}$			
2. Час витікання досліджуваної рідини через отвір	τ_p	с			
3. Час витікання води через отвір	τ_e	с			
4. В'язкість досліджуваної рідини в умовних градусах Енглера	E^0	–			
5. Кінематичний коефіцієнт в'язкості досліджуваної рідини	ν	$\text{м}^2\text{/с}$			
6. Рідина	–	–			

Контрольні запитання

1. Що таке рідина?
2. На які класи поділяються рідини?
3. Що характеризує питома вага рідини?
4. Що називається густиною, відносною густиною рідини?
5. Що таке стисливість?
6. Що називається в'язкістю рідини?
7. Чим характеризується в'язкість?
8. Як називається величина обернена до динамічного коефіцієнта в'язкості?
9. Яка залежність між динамічним та кінематичним коефіцієнтом в'язкості?
10. Запишіть формулу визначення кінематичної в'язкості через градус Енглера (формулу Убелоді)?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема. Дослідження рівняння Бернуллі для крапельних рідин

Мета роботи

1. Засвоїти такі основні поняття:

- закон збереження енергії потоку рідини (рівняння Бернуллі);
- питома енергія положення (геометричний напір);
- питома потенціальна енергія стану (статичний напір);
- питома кінетична енергія (швидкісний напір);
- п'єзометр;
- трубка Піто;
- площа порівняння;
- повний напір;
- втрати напору;
- напірна лінія;
- п'єзометрична лінія;
- гідравлічний нахил.

2. Виміряти складові напору в поперечних перерізах горизонтального трубопроводу, визначити втрати напору на ділянках трубопроводу між перерізами та графічно побудувати напірну та п'єзометричну лінії.

Загальні відомості

1. Закон збереження енергії відносно сталого потоку в'язкої нестисненої рідини між двома довільно вибраними перерізами потоку записується за допомогою рівняння Бернуллі:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (3.1)$$

де Z - питома енергія положення;

$\frac{p_1}{\gamma}$ - питома потенціальна енергія стану;

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ - питома кінетична енергія ;

h_{1-2} - втрати енергії при русі рідини від перерізу 1-1 до перерізу 2-2;

γ - питома вага рідини, яка зв'язана з густиною ρ за формулою:

$$\gamma = \rho \cdot g;$$

g - прискорення вільного падіння.

Величина питомої енергії для потоку рідини вимірюється напором. Тому з гідравлічних позицій:

Z - геометричний напір;

$\frac{p_2}{\gamma}$ - статичний напір;

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ - швидкісний напір;

h_{1-2} - втрати напору між перерізами 1-1 та 2-2.

Оскільки напори вимірюються лінійною величиною, то їх можна зобразити графічно (рис. 3.1).

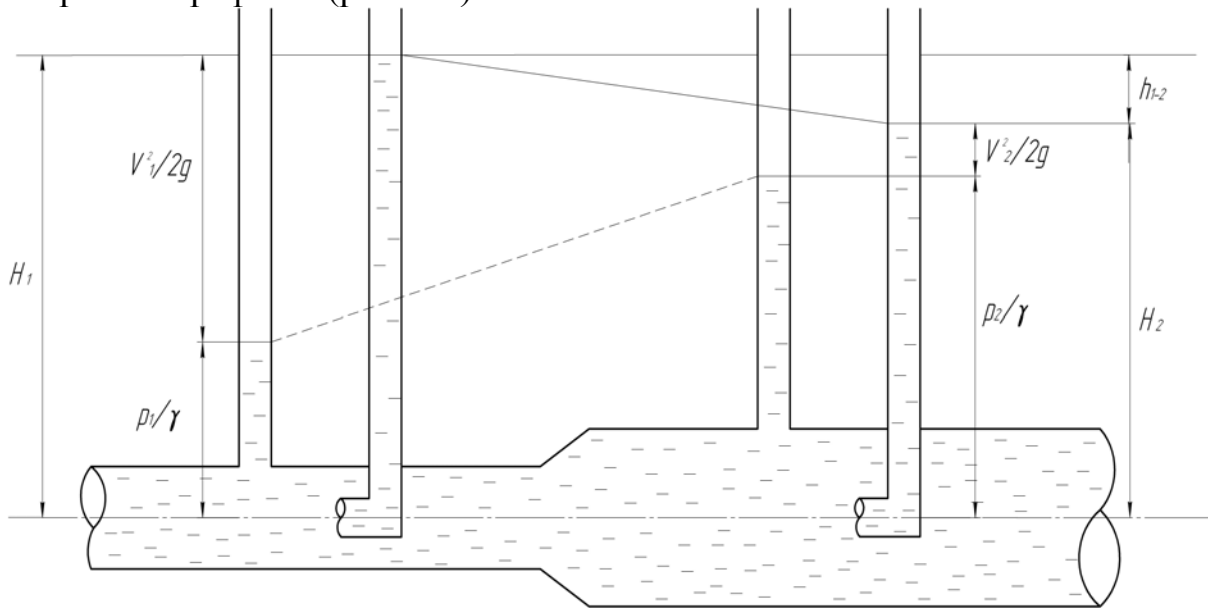


Рисунок 3.1 – Забір напорів

Якщо в довільному перерізі розмістити п'єзометр (ліва трубка), то за ним можна визначити величину статичного напору в цьому перерізі. Цей напір діє в перерізі в усі боки однаково. Фізична суть статичного напору – це надлишок тиску в трубопроводі (тиск стисненої рідини).

Права трубка з повернутим назустріч потоку прихованим кінцем (трубка Піто) сприймає не тільки статичний напір, але й швидкісний. Різниця показів трубки Піто та п'єзометра виражає, таким чином, величину швидкісного напору.

Геометричний напір (питома енергія положення) вимірюється перевищенням центра розглянутого перерізу відносно горизонтальної площини порівняння. Площина порівняння проводиться на довільній висоті. При похилому потоці її звичайно проводять нижче нижнього перерізу, а при горизонтальному потоці цю площину можна провести через вісь потоку. В цьому останньому випадку геометричний напір в усіх перерізах однаковий та його можна виключити з розгляду.

2. Сума трьох напорів у даному перерізі називається повним напором:

- повний напір у першому перерізі

$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}; \quad (3.2)$$

- повний напір у другому перерізі

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}. \quad (3.3)$$

У теоретичній гідромеханіці розглядається рух ідеальної рідини, яка є абсолютно нестиснена та цілком нев'язка, тобто не чинить опір зсувним (дотичним) зусиллям. При переміщенні ідеальної рідини від перерізу 1-1 до перерізу 2-2 не повинні спостерігатись втрати напору,

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}, \quad (3.4)$$

а при зміні перерізу (діаметра) трубопроводу повинен спостерігатись перерозподіл енергії між потенціальною та кінетичною її складовими. В цьому і полягає суть закону збереження енергії.

Наприклад, при збільшенні діаметра трубопроводу (рис. 3.2) швидкісний напір у другому перерізі $\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}$ зменшується в порівнянні з

величиною $\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$, відповідно збільшується і величина $\frac{p_2}{\gamma}$ таким чином,

щоб сумарна величина тричлена в правій частині рівняння (3.4) залишалася рівною лівій частині. При цьому лінія повного напору і лишається горизонтальною.

Рух в'язкої рідини супроводжується неминучими втратами енергії (напору). Тоді втрата напору між двома вибраними перерізами потоку буде:

$$h_{1-2} = H_1 - H_2. \quad (3.5)$$

Втратою напору, таким чином, називається різниця повних напорів. Рівняння Бернуллі для обчислення втрат напору буде мати вигляд:

$$h_{1-2} = \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right) \quad (3.6)$$

чи

$$h_{1-2} = (Z_1 - Z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g}. \quad (3.7)$$

Якщо потік рідини є горизонтальним, то $Z_1 = Z_2$ і втрата напору буде визначатись як різниця статичних та швидкісних напорів:

$$h_{1-2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2 - \alpha_2 V_2^2}{2g}. \quad (3.8)$$

3. Складові повного напору та величину втрат напору між двома перерізами для наочності можна подати графічно (рис. 3.2.).

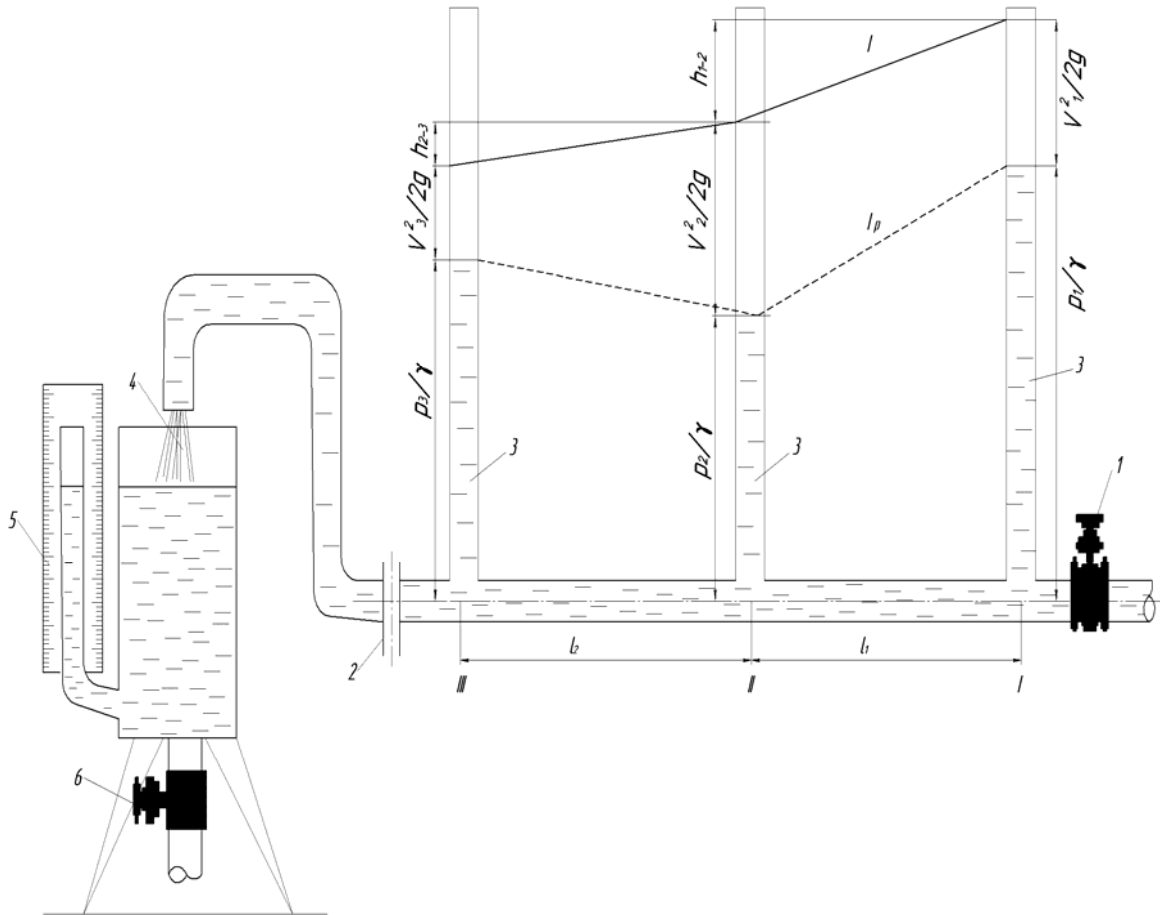


Рисунок 3.2 – Перерозподіл напорів при русі ідеальної рідини

Лінія, яка з'єднує покази трубок Піто, називається напірною лінією (на рис. 3.2 – неперервна), а покази п'єзометрів, (пунктирна) - п'єзометричною лінією. Напірна лінія завжди має нахил у бік руху рідини, оскільки повний напір (енергія) вздовж потоку може тільки зменшуватись. Нахил п'єзометричної лінії може бути довільним.

Нахил напірної лінії характеризується гідравлічним нахилом:

$$I = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}, \quad (3.9)$$

чи

$$I = \frac{d \left(Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)}{dl}, \quad (3.10)$$

де l_{1-2} - відстань між перерізами.

Обладнання

Установка являє собою горизонтальний трубопровід (рис. 3.2) з трьома ділянками різного діаметра, на кожній з яких встановлено п'єзометри. Для зручності вимірювань п'єзометри розташовані на одному стенді та приєднані до відповідних ділянок за допомогою гумових трубок. Витрата води в трубопроводі вимірюється об'ємним методом за допомогою мірного бака та секундоміра. Для регулювання швидкості води на початку трубопроводу встановлено регулювальний вентиль (РВ).

Хід виконання роботи

1. На лабораторному обладнанні при постійній витраті води виміряти такі дані та результати занести до таблиці 3.1:

- діаметри ділянок трубопроводу та мірного бака, см;
- час наповнення мірного бака на висоту = 5 – 15 см з точністю до 1 с;
- покази п'єзометрів з точністю до 1 мм.

2. За виміряними даними обчислити, використовуючи власні знання та наведені вище формули, такі параметри та занести їх до таблиці 3.1:

- площу поперечного перерізу ділянок трубопроводу з точністю до 1 см²;
- площу поперечного перерізу мірного бака з точністю до 1 см;
- об'єм води в баку з точністю до 1 см;
- витрату води з точністю до 1 см /с;
- середню швидкість у перерізах з точністю до 0,1 см/с;
- швидкісний напір у перерізах з точністю до 0,01 см;
- повний напір у перерізах;

- втрату напору між перерізами: $H = \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g}, \quad h_{2-3} = H_2 - H_3;$

- гідравлічний нахил з точністю до 0,001: $I_{1-2} = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}, \quad I_{2-3} = \frac{h_{2-3}}{l_{2-3}}.$

3. Побудувати графіки п'єзометричної та напірної ліній. На останній сторінці звіту зобразити (на міліметровці) досліджувану ділянку трубопроводу в масштабі: горизонтальний 1:20, а вертикальний 1:10. В перерізах по вертикалі відкладаються величини статичних та швидкісних напорів, як зображено на рис. 3.2. Статичні напори з'єднуються

пунктирною лінією, а повні напори - суцільною. Усі напори слід позначати.

Таблиця 3.1 – Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
Діаметр перерізів	d	см			
		м			
Діаметр мірного бака	D	см			
		м			
Площа перерізів	ω	см ²			
		м ²			
Площа перерізу мірного бака	Ω	см ²			
		м ²			
Висота піднімання рівня води у мірному баку	h_0	см			
		м			
Час піднімання рівня води у мірному баку на висоту	t	с			
Об'єм води у мірному баку	W	см ³			
		м ³			
Витрата води	Q	см ³ /с			
		м ³ /с			
Середня швидкість води в перерізах	$V = Q/W$	м/с			
Швидкісний напір у перерізах	$\alpha V^2 / 2g$	см			
		м			
Статичний напір у перерізах	p/γ	см			
		м			
Повний напір	$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$	см			
		м			
Втрата напору між перерізами	h	см			
		м			
Віддаль між перерізами	L	см			
		м			
Гідравлічний нахил між перерізами	I	-			

Контрольні запитання

1. Що являють собою величини Z , $\frac{p}{\gamma}$, $\frac{\alpha V^2}{2g}$ з енергетичної та гідравлічної точок зору?

2. Чим вимірюється величина $\frac{P}{\gamma}$?
3. Як вимірюється величина $\frac{\alpha V^2}{2g}$?
4. Для чого проводиться площина порівняння та як вона проводиться для похилого та горизонтального потоків?
5. Що називається повним напором?
6. Що називається втратою напору?
7. Як визначається втрата напору для горизонтального потоку постійного перерізу?
8. Яка рідина називається ідеальною?
9. Запишіть рівняння Бернуллі для ідеальної рідини.
10. Запишіть рівняння Бернуллі для в'язкої рідини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
Тема. Дослідження режимів руху рідин

Мета роботи

1. Засвоїти такі основні поняття:
 - режим руху - ламінарний, турбулентний;
 - число Рейнольдса;
 - середня швидкість,
 - коефіцієнт кінематичної в'язкості;
 - перехідна зона;
 - критичні значення числа Рейнольдса: нижнє, верхнє, розрахункове.
2. Визначити режим руху експериментальним шляхом візуально та за числом Рейнольдса.

Загальні відомості

1. В інженерній діяльності доводиться виконувати гідравлічні розрахунки різних трубопроводів, водопровідних мереж, відкритих русел.

При русі рідини відбувається втрата енергії на різних гідравлічних опорах. Експериментальні дослідження показали, що втрата енергії суттєво залежить від характеру самих частинок рідини, тобто від режиму руху. Розрізняють два режими руху: ламінарний, коли вся маса рідини рухається паралельними незмішуваними шарами; турбулентний, коли спостерігається безперервне інтенсивне змішування частинок рідини. Вид режиму визначає величину втрат енергії. Тому необхідно мати метод, який дасть можливість заздалегідь визначити очікуваний режим у розрахунковому трубопроводі, а також вибрати критерій, який дозволяє встановити вид режиму.

Сукупність параметрів потоку рідини, які визначають її режим руху, називається числом Рейнольдса та позначається **Re**. Для потоку у круглій трубі число Рейнольдса визначається за формулою:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}, \quad (4.1)$$

де d - діаметр труби, см;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, $\text{см}^2/\text{с}$;

V - середня швидкість потоку, яка рівна відношенню витрати рідини (Q , $\text{см}^3/\text{с}$) до площі поперечного перерізу потоку (ω , см^2)

$$V = \frac{Q}{\omega}, \quad (4.2)$$

Для води коефіцієнт кінематичної в'язкості залежить від температури та визначається за тарувальною таблицею, яка розміщена на

стенді біля установки. Якщо в формули (4.1) та (4.3) підставити розмірності величин правих частин, то легко переконатися, що число Рейнольдса - безрозмірна величина.

Для потоків інших поперечних форм (канали, лотки, річки, труби не круглого перерізу та інші) число Рейнольдса визначається за формулою:

$$\mathbf{Re} = \frac{VR}{\nu}, \quad (4.3)$$

де R - гідравлічний радіус потоку;

$$R = \frac{w}{\lambda}, \quad (4.4)$$

де λ - довжина змоченого периметра потоку;

w - площа живого перерізу.

2. Виникає питання: при яких значеннях числа \mathbf{Re} режим руху буде ламінарним, а при яких - турбулентним? Доведено, що при малих швидкостях (відповідно і малих значеннях числа \mathbf{Re}) для даної рідини буде виникати ламінарний режим, а при великих – турбулентний.

Відповідно до чисел Рейнольдса: значення $\mathbf{Re} < 2300$ відповідає завжди ламінарному режимові, а значення $\mathbf{Re} > 13800$ - завжди турбулентному.

Проміжок $2320 < \mathbf{Re} < 13800$ називається перехідною зоною. В цій зоні може спостерігатися або ламінарний, або турбулентний режими. Значення \mathbf{Re} кр., при якому виникає перехід від одного режиму до іншого, називається критичним значенням числа Рейнольдса. Таким чином, існує два критичних значення:

\mathbf{Re} кр.н. = 2320 - нижнє критичне

\mathbf{Re} кр.в. = 13800 - верхнє критичне

3. Коли в перехідній зоні буде виникати ламінарний режим, а коли турбулентний? Дослідами доведено, якщо турбулентний режим з'явився після ламінарного, то в перехідній зоні виникає ламінарний режим. Таким чином, якщо поступово збільшувати швидкість потоку (тобто збільшувати число \mathbf{Re}), то виникнення турбулентного режиму буде затримано до значення $\mathbf{Re} = 13800$. І навпаки, якщо ламінарний режим настає після турбулентного, то в перехідній зоні виникає турбулентний режим. Це відбувається при поступовому зменшенні швидкості при великих значеннях числа \mathbf{Re} . Утворення ламінарного режиму проходить при $\mathbf{Re} = 2320$.

У перехідній зоні ламінарний режим менш стійкий, ніж турбулентний. Ламінарний режим у цій зоні досягається тільки в

лабораторних умовах при дотриманні повільного поступового збільшення швидкості та відсутності коливань і вібрацій обладнання, плавного входу потоку в трубу. На практиці в цій зоні майже завжди спостерігається турбулентний режим. Прийнято вважати, що при числах $Re > 2320$ буде спостерігатись тільки турбулентний режим. Тому при всіх практичних обчисленнях за розрахункове критичне значення числа Re приймається тільки його нижче значення, тобто $Re_{кр.н.} = 2320$.

Обладнання

Наявність двох режимів руху була обґрунтована англійським фізиком О. Рейнольдсом. Він створив експериментальний прилад для візуального визначення режимів руху рідини.

Лабораторне обладнання, аналогічне приладу Рейнольдса, застосовується для демонстрації режимів руху (рис. 4.1). Воно являє собою напірний бак з водою, в якому підтримується постійний напір H шляхом відведення лишку рідини через трикутний водозлив.

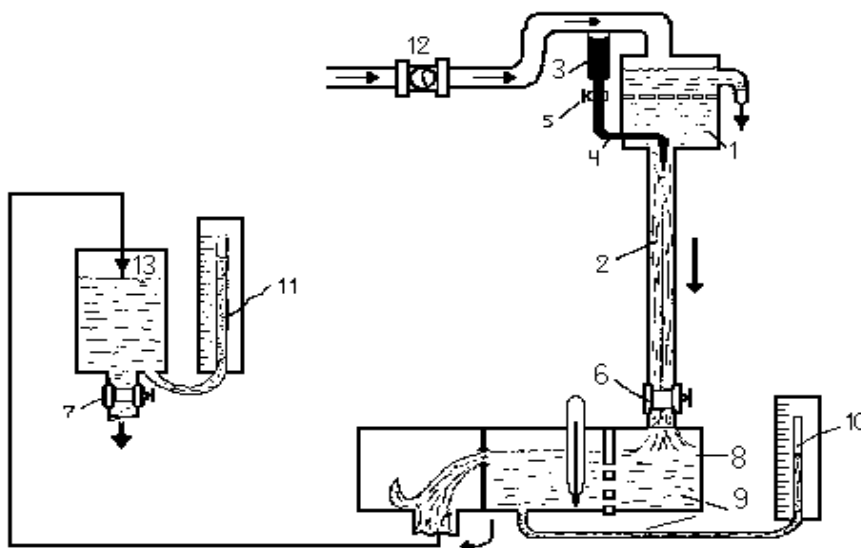


Рисунок 4.1 - Лабораторне обладнання для демонстрації режимів руху рідини. 1 - бак напірний; 2 - трубка скляна; 3 - ємкість з візиром; 4 - трубка для візуалізатора; 5, 6, 7 – вентиль; 8 - приймальний лоток; 9 - водозлив мірний; 10, 11 – п'єзометри; 12 - водомір крильчастий; 13 - мірний бак

До бака приєднана прозора труба 2 з краном 6 для регулювання швидкості витікання рідини. До складу обладнання входить також малий бачок 3 з підфарбованою рідиною. Відкриваючи кран 5 та подаючи через тонку трубку 4 підфарбовану рідину в трубку 2, можна спостерігати таке:

- при ламінарному русі частинок підфарбована рідина рухається тонкою нерозривною струминкою по всій довжині потоку;

- якщо спостерігається турбулентний режим руху рідини, то струминка підфарбованої рідини, входячи в потік, розбивається на окремі частинки та переміщується з основною масою потоку води.

Витрата води, яка проходить по скляній трубці, визначається за спеціальною тарувальною таблицею в залежності від висоти рівня рідини над вершиною трикутного мірного водозливу 9, який встановлено в приймальному лотку 8. Цей рівень заміряється за допомогою приладу по шкалі п'єзометра 10, який називається іноді "лінійкою водозливу".

Хід виконання роботи

1. На лабораторному обладнанні при постійній витраті виміряти такі дані та занести до таблиці 4.1:

- діаметр (см) та площу поперечного перерізу трубки (см²);
- висоту рівня води за лінійкою водозливу у (см) з точністю до 1 мм;
- за значенням (у) визначити витрату води в трубці згідно з тарувальною таблицею, яка знаходиться на стенді біля обладнання;
- температуру води в °С за допомогою термометра з точністю + 1 °С;
- за таблицею визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості води;
- визначити візуально режим руху при даній витраті води;
- кількість дослідів задається викладачем.

2. За вимірними даними обчислити, використовуючи власні знання та наведені вище формули, такі параметри та занести їх до таблиці 4.1:

- середню швидкість води у трубці за формулою (4.2) з точністю до 1 см/с;
- число Рейнольдса за формулою (4.1) з точність до 100;
- визначити режим руху рідини за одержаним числом Рейнольдса;
- зіставити одержані результати з результатами візуального спостереження.

Таблиця 4.1 – Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди		
			1	2	3
Діаметр труби	D	см			
		м			
Площа перерізу	ω	см			
		м			
Висота рівня за лінійкою водозливу	у	мм			
		м			
Витрата води	Q	см ³ /с			
		м ³ /с			
Температура води	t	°С			
Режим руху (візуально)					

Продовження таблиці 4.1

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди		
			1	2	3
Кінематичний коефіцієнт в'язкості	ν	см ² /с			
		м ² /с			
Середня швидкість води в потоці	V	см/с			
		м/с			
Число Рейнольдса	Re				
Режим руху за числом Рейнольдса					

Контрольні запитання

1. Що називається режимом руху рідини?
2. Що називається ламінарним режимом?
3. Що називається турбулентним режимом?
4. Що називається числом Рейнольдса?
5. Що називається середньою швидкістю потоку і як її обчислюють?
6. Доведіть, що число Re є безрозмірною величиною.
7. Що називається критичним числом Рейнольдса?
8. Чому дорівнює нижнє критичне значення Re?
9. Менше якого значення Re буде спостерігатись ламінарний режим?
10. Більше якого значення числа Re буде завжди існувати турбулентний режим?
11. Що називається перехідною зоною та в яких межах вона спостерігається?
12. Який режим руху буде існувати в перехідній зоні?
13. Який режим спостерігається в перехідній зоні при числі $Re = 7000$, якщо ламінарний замінюється турбулентним?
14. Який режим спостерігається в перехідній зоні при числі $Re = 7000$, якщо турбулентний режим замінюється ламінарним?
15. Який режим у практичних умовах спостерігається в перехідній зоні?
16. Чому дорівнює критичне значення числа Re?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5
Тема. Визначення коефіцієнта Шезі

Мета роботи

1. Засвоїти такі основні поняття:
 - формула Шезі;
 - коефіцієнт Шезі;
 - гідравлічний радіус;
 - гідравлічний нахил;
 - формула Манінга;
 - коефіцієнт шершавості.
2. Визначити експериментальним шляхом коефіцієнт Шезі.
3. Обчислити коефіцієнт Шезі за формулою Манінга.
4. Порівняти експериментальні та розрахункові дані.

Загальні відомості

Відкриті русла бувають штучні або природні. До природних відкритих русел відносяться річки та струмки, до штучних – канали, канами, безнапірні труби (каналізаційні, дренажні та інші), гідротехнічні тунелі та інше.

Особливість руху у відкритому руслі полягає у тому, що потік обмежується не з усіх боків, а має вільну поверхню, всі точки якої знаходяться під дією однакового зовнішнього тиску (атмосферного). При рівномірному русі рідини у відкритому руслі гідравлічний, п'езометричний та ухил дна русла рівні між собою.

В 1776 р. французький гідравлік Антуан Шезі запропонував формулу визначення швидкості потоку рідини у відкритому руслі:

$$v = C \cdot \sqrt{I \cdot R}. \quad (5.1)$$

Цю формулу називають формулою Шезі. Швидкісний множник C називають коефіцієнтом Шезі.

Використовуючи формулу для витрати $Q = \omega \cdot v$, отримаємо основну залежність, що використовують при гідравлічному розрахунку відкритих русел:

$$Q = \omega \cdot C \cdot \sqrt{I \cdot R}, \quad (5.2)$$

- де Q - витрата рідини;
 ω - площа поперечного перерізу потоку;
 C - коефіцієнт Шезі;
 R - гідравлічний радіус потоку;

I - гідравлічний нахил.

Коефіцієнт Шезі C , що входить до основних розрахункових формул рівномірного руху у відкритих руслах, можна визначити за рядом емпіричних формул.

Широке розповсюдження для визначення коефіцієнта Шезі C отримала формула Н. Н. Павловського

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (5.3)$$

де n - коефіцієнт шорсткості (безрозмірний), який залежить від величини виступів шорсткості стінок та їх стану, значення n наводиться в гідравлічних довідниках;

R – гідравлічний радіус, м;

y – показник степені, що визначається за формулою

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1). \quad (5.4)$$

У ряді випадків для підрахунків коефіцієнта Шезі C використовують формулу Маннінга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (5.5)$$

При розрахунках іригаційних каналів рекомендується користуватися формулою І. І. Агроскіна:

$$C = 1/n + 17,72 \lg R. \quad (5.6)$$

Розрахунок каналів та лотків, що мають відносно гладкі стінки, рекомендується виконувати за формулою А. Д. Альтшуля

$$C = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon + 0,004/\sqrt{R \cdot I}}, \quad (5.7)$$

де R – гідравлічний радіус, мм;

ε – приведена лінійна шорсткість, мм (див. додаток В).

Розмірність коефіцієнта Шезі $\left[\frac{L^{1/2}}{T} \right]$.

Гідравлічним радіусом називається відношення площі поперечного перерізу потоку ω до довжини його змоченого периметра стискання з обмежувачими його стінами

$$R = \frac{\omega}{\lambda}. \quad (5.8)$$

Гідравлічний радіус є універсальним параметром, який може бути визначений для будь-яких потоків, що мають різні форми поперечного перерізу. Неважко переконатись, що для потоку в круглій трубі з внутрішнім діаметром

$$R = \frac{d}{4}. \quad (5.9)$$

Гідравлічним нахилом потоку I називається відношення величини втрати напору h до довжини l , на якій здійснюються ці втрати

$$I = \frac{h}{l}. \quad (5.10)$$

Обладнання

Дослідне визначення коефіцієнта Шезі виконується на експериментальному обладнанні, схема якого наведена на рис. 5.1.

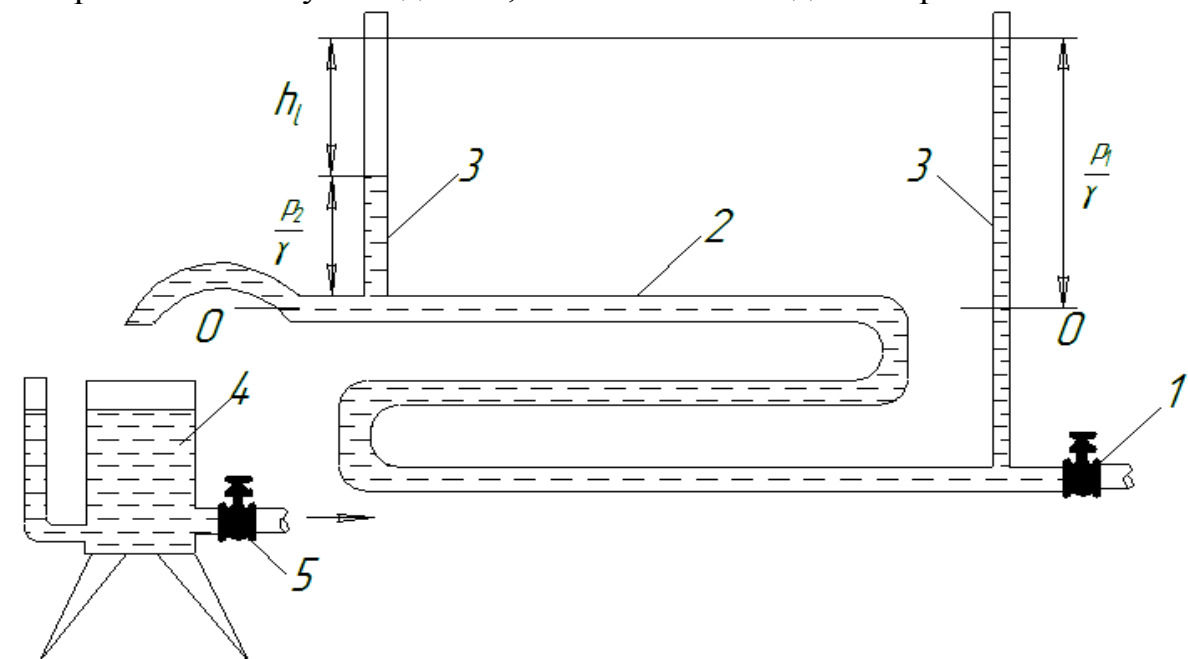


Рисунок 5.1 – Лабораторне обладнання для дослідного визначення коефіцієнта Шезі

Установка являє собою прямолінійну горизонтальну ділянку трубопроводу сталого діаметра 1, по якому подається рідина. Установка обладнана такими приладами: 2, 3 – п’езометри, за якими визначається втрата напору по довжині трубопроводу, 4 – мірний бак з водомірним склом, за показами якого та за допомогою секундоміра визначається об’єм води W , яка надходить за час t у бак, а потім витрата води Q , 5 – регулюючий вентиль, за допомогою якого в трубопроводі встановлюються різні витрати, 6 – випускний вентиль.

Хід виконання роботи

1. При постійній витраті води у трубопроводі виміряти та занести до таблиці 4.1 такі дані (кількість дослідів задається викладачем):

- покази п’езометрів $\frac{P_1}{\rho \cdot g}$ та $\frac{P_2}{\rho \cdot g}$ з точністю до 1 мм;
- висоту піднімання рівня води у мірному баці (від 2 до 5 см);
- час піднімання рівня води на висоту h_0 з точністю до 1 с;
- занести до таблиці 5.1 також постійні характеристики установки, наведені в паспорті (плакат біля установки).

2. За виміряними даними обчислити такі параметри та занести їх до таблиці 5.1:

- виміряні втрати напору по довжині $h = \frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_2}{\rho \cdot g}$, см
- об’єм води у мірному баці $W = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_0}{4}$, см³
- витрату води $Q = \frac{W}{t}$, см³/с
- гідравлічний нахил з точністю до 0,001 за формулою (5.10);
- гідравлічний радіус з точністю до 0,1 см за формулою (5.9);
- дослідне значення коефіцієнта Шезі за перетвореною формулою (5.2) з точністю до 10 см^{1/2}/с;
- розрахункове значення коефіцієнта Шезі C_p за формулою Альтшуля (5.7) з точністю до 10 см^{1/2}/с;
- коефіцієнт розходження між дослідним та розрахунковим значенням коефіцієнта Шезі з точністю до 0,1 % $\delta = \frac{C_0 - C_p}{C_0} \cdot 100\%$.

Таблиця 5.1 – Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
Діаметр труби	d	см		
		м		

Продовження таблиці 5.1

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
Площа перерізу	ω	см^2		
		м^2		
Довжина ділянки	l	см		
		м		
Приведена лінійна шорсткість	ε	мм		
		м		
Покази 1-го п'езометра	$p_1 / \rho g$	мм		
		м		
Покази 2-го п'езометра	$p_2 / \rho g$	мм		
		м		
Втрата напору	h	см		
		м		
Діаметр мірного бака	d	см		
		м		
Висота рівня води у баці	h_0	см		
		м		
Об'єм води у баці	W	см^3		
		м^3		
Витрата води	Q	$\text{см}^3/\text{с}$		
		$\text{м}^3/\text{с}$		
Гідравлічний радіус	R	см		
		м		
Дослідне значення коефіцієнта Шезі	C_0	$\text{см}^{1/2}/\text{с}$		
		$\text{м}^{1/2}/\text{с}$		
Гідравлічний нахил	I	–		
Розрахункове значення коефіцієнта Шезі	C_δ	$\text{см}^{1/2}/\text{с}$		
		$\text{м}^{1/2}/\text{с}$		
Коефіцієнт розходження	δ	%		

Контрольні запитання

1. Сформулюйте поняття середньої швидкості потоку та запишіть формулу для її визначення через витрату та площу поперечного перерізу потоку.
2. Який зв'язок між швидкістю потоку та втратами напору при ламінарному та турбулентному режимах руху рідини?
3. Записати витратну формулу Шезі.
4. Записати формулу Шезі для знаходження середньої швидкості потоку.
5. Що називається гідравлічним радіусом потоку?
6. Запишіть формулу гідравлічного радіуса та поясніть її складові.
7. Запишіть формулу гідравлічного нахилу.
8. Запишіть формулу Альтшуля для знаходження коефіцієнта Шезі.
9. Яка розмірність коефіцієнта Шезі?
10. Поясніть зв'язок між шорсткістю стінок, величиною коефіцієнта Шезі та витратою потоку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6
Тема. Визначення коефіцієнтів місцевих опорів

Мета роботи

1. Засвоїти такі основні поняття:

- два види втрат напору;
- місцеві опори;
- формула Вейсбаха;
- коефіцієнт місцевого опору.

2. Визначити експериментальним шляхом коефіцієнти місцевих опорів різних гідравлічних пристроїв.

Загальні відомості

Визначення втрат напору (енергії) при русі рідини по трубопроводу є одним з основних питань гідравліки. Розрізняють два види втрат напору:

- втрати напору по довжині;
- втрати напору на місцевих опорах.

Перший вид втрат напору виникає внаслідок в'язкості рідини та шорсткості стінок, тому ці втрати рівномірно розподілені по всій довжині потоку.

Другий вид втрат напору викликається так званими “місцевими опорами”. Місцеві опори - це такі ділянки трубопроводу (повороти, коліна, раптове розширення та інше) та гідравлічні пристрої (вентилі, крани, засувки, вимірювальні прилади), в яких виникає зміна швидкості за величиною, напрямком чи величиною та напрямком одночасно. Рух рідини крізь місцеві опори має складний вигляд. Потік рідини, проходячи крізь місцеві опори, деформується. Гідравлічні удари та завихрення, що виникають при цьому, призводять до втрат енергії.

Втрати напору визначаються за формулою Вейсбаха:

$$h_{м.о.} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6.1)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору (додаток Г);

v - середня швидкість потоку в трубопроводі після місцевого опору.

Звичайно при розрахунках втрат напору величина середньої швидкості відома, тому задача зводиться до визначення числового значення коефіцієнта місцевого опору.

Природно припустити, що чим складнішим є місцевий опір, тим більш значні деформації потоку виникають в ньому та тим більш будуть викликані ним втрати напору. Тому і величина коефіцієнта місцевого опору буде більша.

Теоретично обчислити величину коефіцієнта місцевого опору звичайно не вдається, тому для кожного виду місцевого опору коефіцієнт визначається дослідним шляхом та наводиться в гідравлічних довідниках.

Дослідним шляхом встановлено, що величина коефіцієнта даного місцевого опору залежить тільки від його конструкції та практично не залежить від його геометричних розмірів.

Метою роботи є визначення дослідним шляхом за допомогою експериментальної установки числового значення коефіцієнта місцевого опору.

Обладнання

Експериментальна установка для визначення коефіцієнтів місцевих опорів (рис. 6.1) являє собою горизонтальну ділянку трубопроводу з розташованими на ній різними гідравлічними пристроями, які викликають місцеві втрати енергії в потоці. До і після кожного місцевого опору встановлено п'єзометри, за різницею показів яких визначається втрата напору в даному місцевому опорі. Для зміни витрати рідини у трубопроводі встановлено регулювальний вентиль. Вимірювання витрати рідини здійснюється за допомогою мірного бака з рівнемір та секундоміра. Слід звернути увагу на те, що трубопровід зроблений з окремих ділянок різного діаметра.

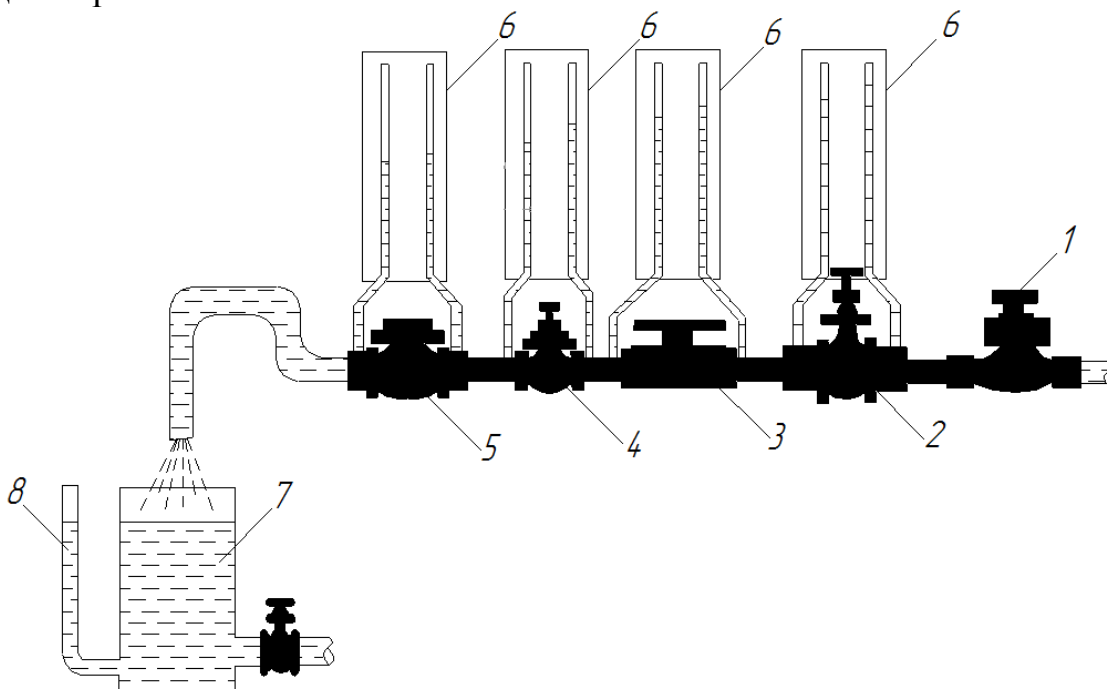


Рисунок 6.1 - Лабораторне обладнання для визначення коефіцієнтів місцевих опорів: 1 – вентиль регулювальний, 2 – засувка, 3 – лічильник крильчастий, 4 – вентиль, 5 – клапан зворотний, 6 – п'єзометр, 7 – мірний бак, 8 – рівнемір

Хід виконання роботи

1. При постійній витраті рідини у трубопроводі виміряти та занести до таблиці 6.1 такі дані:

- діаметр трубопроводу d ;
- час t піднімання рівня води у мірному баці на висоту 5 см;
- покази всіх п'езометрів до та після місцевих опорів з точністю до 1 мм;
- занести до таблиці значення постійних величин установки.

2. За виміряними даними обчислити такі параметри та занести до таблиці 6.1:

- площу поперечного перерізу трубопроводів $\omega = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}$,

де d_n - діаметр трубопроводу;

- об'єм води у мірному баці $W = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_0$

де d - діаметр бака;

h_0 - висота піднімання води у баці;

- витрату води в установці $Q = \frac{W}{t}$;

- середню швидкість потоку з точністю до 1 см/с до та після опорів $V = \frac{Q}{w}$;

- швидкісний напір у перерізах до та після опорів $v^2 / 2g$;

- повний напір у перерізах до та після опорів $H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$;

- втрату напору у місцевому опорі $h = H_1 - H_2$,

де H_1 - повний напір у перерізі до даного опору;

H_2 - повний напір у перерізі після даного опору.

- коефіцієнти місцевих опорів з точністю до 1,0 (за швидкісним напором опору).

Таблиця 6.1 – Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Вид місцевого опору			
			Засувка	Водомір	Вентиль	Клапан зворотний
Діаметр трубопроводу	d_1	см				
		м				
Діаметр трубопроводу після опору	d_2	см				
		м				

Продовження таблиці 6.1

Найменування	Позначення	Розмірність	Вид місцевого опору			
			Засувка	Водомір	Вентиль	Клапан зворотний
Площа поперечного перерізу після опору	ω_2	см ²				
		м ²				
Діаметр мірного бака	d	см				
		м				
Висота піднімання рівня води у мірному баці	h_6	см				
		м				
Час піднімання рівня води у мірному баці	t	с				
Об'єм води у мірному баці	W	см ³				
		м ³				
Витрата води	Q	см ³ /с				
		м ³ /с				
Середня швидкість води до опору	v_1	см/с				
		м/с				
Середня швидкість води після опору	v_2	см/с				
		м/с				
Швидкісний напір до опору	$v_1^2/2g$	см				
		м				
Швидкісний напір після опору	$v_2^2/2g$	см				
		м				
Покази п'езометрів до опору	p_1/γ	см				
		м				
Покази п'езометрів після опору	p_2/γ	см				
		м				
Повний напір до опору	H_1	см				
		м				
Повний напір після опору	H_2	см				
		м				
Втрата напору в місцевому опорі	h	см				
		м				
Коефіцієнт місцевого опору	ξ	—				

Контрольні запитання

1. Які види втрат напору виникають в трубопроводах?
2. Запишіть формулу Вейсбаха для місцевих втрат напору.
3. Поясніть фізику явища виникнення втрат енергії в місцевих опорах.
4. У чому різниця між фізичними явищами, які викликають втрати енергії по довжині потоку та втрати енергії на місцевих опорах?
5. Яка розмірність коефіцієнта місцевого опору?
6. Яка розмірність втрат напору?
7. Чи залежить (та поясніть в якій мірі) величина місцевих втрат у вентилях від ступеня перекриття потоку?
8. Чи залежить місцевий опір від режиму руху рідини?
9. Чи залежить коефіцієнт місцевого опору дифузора від кута розкриття?

ЛІТЕРАТУРА

1. Альтшуль А. Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов. / Альтшуль А. Д., Кисилев П. Г. – М.: Стройиздат. 1975. - 323 с.
2. Мандрус В. І. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків: Навч. посібник для студ. автомобільних і машинобудівних спец. вузів. / Мандрус В. І., Лещій Н. П., Звягін В. М. – Львів: Світ, 1995. – 263 с.
3. Срібнюк С. М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії і застосування: Навчальний посібник. / Срібнюк С. М. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 328 с.
4. Коц І. В. Методичні вказівки до виконання курсових та контрольних робіт з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів" для студентів напряму підготовки 0921 - "Будівництво" всіх форм навчання. / Коц І. В., Вовк Т. Ю., Ніколайчук І. І. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 61с.
5. Лісцін Є. Ф. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни "Технічна механіка рідин та газів" для студентів заочної форми навчання спеціальності "Теплопостачання і вентиляція" / Лісцін Є. Ф., Шаманський С. Й. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 66 с.
6. Лісцін Є. Ф. Технічна механіка рідин та газів. Лабораторний практикум. / Лісцін Є. Ф., Слободян Н. М. – Вінниця: ВДТУ, 2000. – 69 с.
7. Калицун В. И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / Калицун В. И., Кедров В. С., Ласков Ю. М. – М.: Стройиздат, 1980. – 359 с.

Додаток А

Допустимі відхилення показів манометрів від істинних значень виміряного тиску Δ , кг/см^2

Межа вимірювань, кг/см^2	Клас точності						
	0,16	0,25	0,4	1	1,54	2,5	4
0,6	0,00096	0,0015	0,0024	0,006	0,009	0,015	0,024
1	0,0016	0,0025	0,004	1,010	0,015	0,025	0,04
1,6	0,00256	0,004	0,0064	0,016	0,024	0,04	0,06
2,5	0,004	0,006	0,010	0,025	0,038	0,06	0,1
4	0,0064	0,010	0,016	0,040	0,060	0,1	0,16
6	0,0096	0,015	0,024	0,06	0,09	0,15	0,24
10	0,016	0,025	0,040	0,1	0,15	0,25	0,4
16	0,0256	0,040	0,064	0,16	0,24	0,4	0,64
25	0,040	0,0625	0,100	0,25	0,375	0,625	1
40	0,064	0,100	0,160	0,4	0,6	1	1,6
60	0,096	0,150	0,240	0,6	0,9	1,5	2,4
100	0,160	0,250	0,400	1	1,5	2,5	4
160	0,256	0,400	0,640	1,6	2,4	4	6,4
250	0,400	0,625	1,000	2,5	3,75	6,25	10
300	0,480	0,750	1,200	3	4,5	7,5	12
400	0,640	1,000	1,600	4	6	10	16
600	0,960	1,500	2,400	6	9	15	24
1000	1,600	2,500	4,000	10	15	25	40
1600	2,560	4,000	6,400	16	24	40	64

Пружинні манометричні прилади в корпусах діаметром 100 та 160 мм

Прилади	Тип	Верхня межа вимірювання тиску, кГ/см ²		Клас точності
		вакуум- метричного	надлишкового	
Манометр	ОБМ1-160 ОБМ1-160б	–	1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100	1,5
	ОБМГ _{Н1} -100 ОБМГ _{Н1} -100б	–	100; 160; 250	2,5
	ОБМГ _{Н1} -160 ОБМГ _{Н1} -160б	–	160; 250; 400; 600	1,5
	ОБМГ _{В1} -160 ОБМГ _{В1} -160б	–	1000; 1600	1,5
Мановакуумметр	ОБМВ1-100 ОБМВ1-100б	1	0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24	2,5
	ОБМВ1-160 ОБМВ1-160б	1	0,6; 1,5; 3; 5; 9; 15; 24	1,5
Вакуумметр	ОБВ1-100 ОБВ1-100б	1	–	2,5
	ОБВ1-160 ОБВ1-160б	1	–	1,5
Манометр	ГМ-160 ГМОШ-160	–	160; 250; 400; 600	1,5
	МОШ1-160	–	1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100	1,5
	МГНОШ1-160	–	60; 250; 400; 600	1,5
Мановакуумметр	МВОШ1-100 МВОШ1-160	1	0,6; 1,5; 3,5; 9; 15; 24	2,5 1,5
	ВОШ1-100 ВОШ1-160	1	–	2,5 1,5

Додаток Б

Значення кінематичної в'язкості рідин при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

номер	Рідина	ρ , кг/м ³	$\nu \cdot 10^{-6}$, м ² /с
1	Анілін	1040	4,3
2	Ацетон	792	0,4
3	Бензол	880	0,736
4	Вода прісна	998	1,012
5	Стічні води	1050	1,10-1,16
6	Ефір	719	0,363
7	Масило касторове	960	1002
8	Масило мінеральне	892	30-750
9	Нафта	950	25-140
10	Ртуть	13550	0,11
11	Спирт	798	1,52
12	Молоко	900	1,74
13	Газ	792	2,5
14	Бензин	740	0,83-0,93
15	Мазут		2200-2500
16	Патока		60000
17	Гліцерин	1250	1200
18	Масило машинне	908	40-140

Додаток В

Значення приведеної лінійної шорсткості ε .

Характеристика русла	ε , мм
Виключно гладенькі поверхні (емальовані, глазуровані та т. п.)	0 (до 0,02)
Чиста цементна штукатурка	0,04 (0,02–0,06)
Металеві лотки гладенькі	0,1 (0,02–1)
Дерев'яні лотки, бетонування	0,3 (0,03–1,5)
Цегляна кладка	0,5 (0,08–1,25)
Тесаний камінь	0,5 (0,12–1,25)

Додаток Г

Орієнтовні значення деяких коефіцієнтів місцевих опорів

Назва місцевого опору	ξ_m
Вхід в трубу:	
- з гострою кромкою	0,5
- із закругленою кромкою	0,25
Вихід із труби:	
- різкий поворот на 90°	1,5
- плавний поворот на 90°	0,15-0,35
- поворот на будь-який кут	0,3-9
Патрубки	0,2-0,3
Трійники	0,2-0,5
Дифузор	0,2-0,6
Конфузор	0,3-0,6
Відводи	1-1,5
Фільтри	8-12
Всмоктувальні клапани	6-8
Засувка	0,5-1,5
Вентилі	3-3,5
Сітки з квадратними чарунками	1-2
Клапани зворотні	7
Шибер	0,2-0,6

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
“Технічна механіка рідин та газів” для студентів напряму підготовки
6.060101 – “Будівництво” всіх форм навчання.

Укладачі: Іван Васильович Коц

Олена Петрівна Колісник

Катерина Володимирівна Бауман

Оригінал-макет підготовлено О. П. Колісник

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7×42¹/₄
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп’ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ