

532(075)

Л63

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Е.Ф. Лісцин,

Н.М. Слободян

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ РІДИН ТА ГАЗІВ**

Вінниця ВДТУ 2000

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Е.Ф. Лісцин,

Н.М. Слободян

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ РІДИН ТА
ГАЗІВ**

**Затверджено Ученою радою Вінницького державного
технічного університету як навчальний посібник для
студентів спеціальності “Промислове та цивільне
будівництво”**

Протокол № 10 від 24 червня 1999 року

НТБ ВДТУ



401120

532(075) Л 63 2000

Місце: Л. Т. Лабораторний практикум, 2000

Вінниця ВДТУ 2000

УДК 532.5 + 533(075)

Є.Ф. Лісцин, Н.М. Слободян. Лабораторний практикум з прикладної механіки рідин та газів. Навчальний посібник /В.: ВДТУ, 2000-61 с.,Укр. мовою/

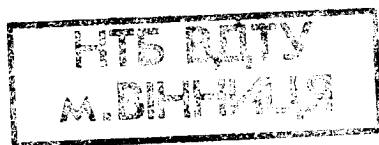
Посібник написано у відповідності з програмою курсу "Прикладна механіка рідини та газів". В навчальному посібнику описано вісім лабораторних робіт. Загальні відомості описано коротко, вони висвічують зміст теми тільки в границях даної роботи. Методика та порядок проведення робіт вказують на самостійність студентів при виконанні повного об'єму робіт.

Бібліогр. 5 найм. Іл. 12 Табл. 8

Рецензенти: А.Ф. Пономарчук, д.т.н., проф.

І.В. Коц, к.т.н., доц.

М.Д. Троценко, нач. абонентського відділу об'єднання "Вінницяводоканал".



401120

Зміст

Робота №1. Дослідження режимів руху рідини.	4 – 10
Робота №2. Дослідження рівняння Бернуллі.	11 - 19
Робота №3. Визначення втрат напору по довжині.	20 - 26
Робота №4. Визначення коефіцієнта Шезі.	27 –32
Робота №5. Визначення коефіцієнтів місцевих опорів.	33 – 38
Робота №6. Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя.	39 – 45
Робота №7. Умови плавучості та остійності тіл в рідині.	46 – 49
Робота №8. Вимірювання густини і коефіцієнтів поверхневого натягу.	50 – 52
Робота №9. Контроль пружинних манометрів.	53 – 55
Робота №10. Прилади для вимірювання тиску рідин та газів.	56 – 60
Література.	61

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема: “Дослідження режимів руху рідини”

Мета роботи:

I. Засвоїти такі основні поняття:

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

Порядок виконання роботи:

Засвоїти матеріал, поданий в розділах : “Загальні відомості”, “Опис обладнання”, “Порядок вимірювань” (25 хвилин).

Підготувати звіт, який повинен містити в собі таблицю 1.1. та основні розрахункові формули (1.1) та (1.2) (15 хвилин).

Провести вимірювання на лабораторному обладнанні, розрахувати необхідні параметри та занести їх у таблицю.

Перевірити правильність одержаних результатів та підписати їх у вкладача (10 хвилин).

Захистити роботу (20 хвилин).

Загальні відомості

1. В інженерній діяльності інколи 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:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} \quad , \quad (1.1)$$

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

$$V = \frac{Q}{w} \quad , \quad (1.2)$$

де d - діаметр труби, см

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

Для води коефіцієнт кінематичної в'язкості залежить від температури та визначається за тарувальною таблицею, яка розміщена на стенді біля установки. Якщо в формули (1.1) та (1.3) підставити розмірності величин правих частин, то легко переконатися, що число Рейнольдса - безрозмірна величина.

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

$$Re = \frac{VR}{\nu} \quad , \quad (1.3)$$

де R - гідравлічний радіус потоку;

$$R = \frac{w}{\lambda} \quad , \quad (1.4)$$

де λ - довжина змоченого периметру потоку;

w - площа живого перерізу.

Не вертаючись до вищенаведеного тексту, перевірте себе, даючи відповідь на такі запитання:

Що називається режимом руху рідини ?

Що називається ламінарним режимом ?

Що називається турбулентним режимом ?

Що називається числом Рейнольдса ?

Що називається середньою швидкістю потоку і як її обчислюють ?

Доведіть, що число Re є безрозмірною величиною.

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

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

Проміжок $2320 < Re < 13800$ називається перехідною зоною. В цій зоні може спостерігатися чи ламінарний, чи турбулентний режими. Значення Re кр., при якому виникає перехід від одного режиму до іншого,

називається критичним значенням числа Рейнольдса. Таким чином, існує два критичних значення:

$Re_{кр.н.} = 2320$ - нижнє критичне

$Re_{кр.в.} = 13800$ - верхнє критичне

Що називається критичним числом Рейнольдса?

Чому дорівнює нижнє критичне значення Re ?

Менше якого значення Re буде спостерігатись ламінарний режим?

Більше якого значення числа Re буде завжди існувати турбулентний режим?

Що називається перехідною зоною та в яких межах вона спостерігається?

Який режим руху буде існувати в перехідній зоні?

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 Re), то виникнення турбулентного режиму буде затримано до значення $Re=13800$. 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 Re . Утворення ламінарного режиму проходить при $Re = 2320$.

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 $Re_{кр.н.} = 2320$.

Який режим спостерігається в перехідній зоні при числі $Re = 7000$, якщо ламінарний замінюється турбулентним?

Який режим спостерігається в перехідній зоні при числі $Re = 7000$, якщо турбулентний режим змінюється ламінарним?

Який режим у практичних умовах спостерігається в перехідній зоні? Чому дорівнює критичне значення числа Re ?

Опис 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. 1.1). Воно являє собою напірний бак з водою, в якому підтримується постійний напір H шляхом відведення лишку рідини через трикутний водозлив.

До баку 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 рідинка рухається тонкою нерозливною 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'езометра 10, який називається іноді "лінійкою водозливу".

Порядок вимірювань

На лабораторному обладнанні при постійній витраті виміряти такі дані та занести до таблиці 1.1:

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

Порядок розрахунків

За вимірними даними розрахувати такі параметри та занести їх до таблиці 1.1. :

- 1) середню швидкість води у трубі за формулою (1.2) з точністю до 1см/с;
- 2) число Рейнольдса за формулою (1.1) з точністю до 100;
- 3) визначити режим руху рідини за одержаним числом Рейнольдса;
- 4) співставити одержані результати з результатами візуального спостереження.

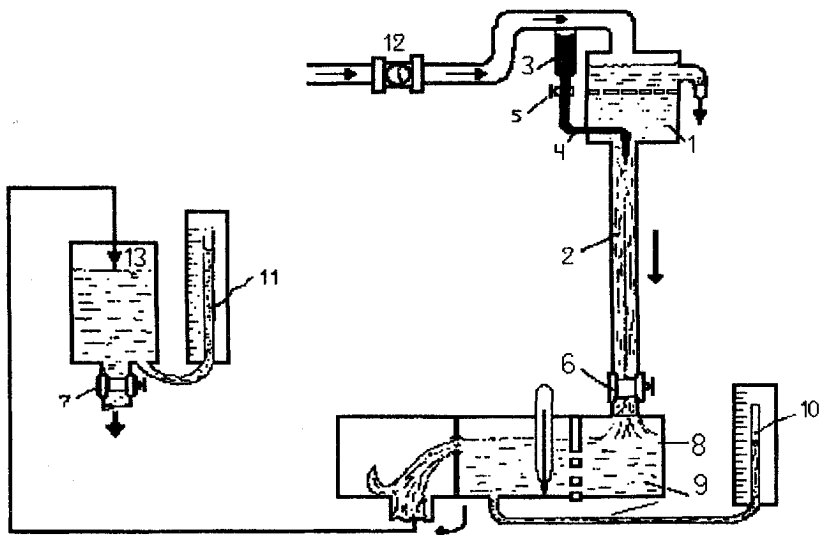


Рис 1.1

- 1 - бак напірний;
- 2 - трубка скляна;
- 3 - ємкість з візуаром;
- 4 - трубка для візуалізатора;
- 5, 6, 7 – вентиля;
- 8 - приймальний лоток;
- 9 - водозлив мірний;
- 10, 11 – п'езометри;
- 12 - водомір крильчатий;
- 13 - бак мірний.

Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Дослід		
			1	2	3
Діаметр труби	D	см			
Площа перерізу	w	см			
Висота рівня за лінійкою водозливу	У	мм			
Витрата води	Q	см ³ /с			
Температура води	t	°С			
Кінематичний коефіцієнт в'язкості	g	см ² /с			
Режим руху (візуально)					
Середня швидкість води в трубці	V	см/с			
Число Рейнольдса	Re				
Режим руху за числом Рейнольдса					

Контрольні запитання до лабораторної роботи № 1

1. За якою з нижченаведених формул визначається число Рейнольдса для потоку в круглій трубці ?

$$1) \frac{\rho V^2}{2}; \quad 2) \frac{Vd}{g}; \quad 3) \rho \cdot w \cdot V; \quad 4) \frac{VR}{g}.$$

2. Вкажіть позначення кінематичної в'язкості:

$$1) g; \quad 2) \rho; \quad 3) \tau; \quad 4) \mu.$$

3. Яка розмірність динамічної в'язкості?

$$1) \text{LMT}^{-2}; \quad 2) \text{LT}^{-2}; \quad 3) \text{L}^{-1}\text{MT}^{-1}; \quad 4) \text{LT}^{-1}.$$

4. Від якого фактора залежить кінематична в'язкість рідин?

$$1) \text{Стискання} \quad 3) \text{Капілярність} \\ 2) \text{Тиск} \quad 4) \text{Температура}$$

5. Який режим руху спостерігається в трубці діаметром 20 мм, у якій

- рухається рідина в'язкістю $\mathcal{G} = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$ при витраті рідини $0,628 \text{ л/с}$?
6. Чому дорівнює нижнє критичне значення числа Re для круглих труб ?
- 1) $Re_{кр} = 1800$ 3) $Re_{кр} = 2000$
 2) $Re_{кр} = 2300$ 4) $Re_{кр} = 3000$
7. Вкажіть позначення динамічної в'язкості:
- 1) \mathcal{G} ; 2) μ ; 3) τ ; 4) \mathcal{E} .
8. Яка розмірність кінематичної в'язкості?
- 1) LMT^{-2} ; 2) LT^{-2} ; 3) L^2T^{-1} ; 4) LT^{-1} .
9. Вкажіть формулу для визначення величини гідравлічного радіуса:
- 1) $\frac{\pi d^2}{4}$; 2) $2\pi R$; 3) $\frac{w}{\lambda}$; 4) $w \cdot V$.
10. При якій з нижчеприведених температур кінематична в'язкість рідин буде максимальною?
- 1) 10°C ; 2) 20°C ; 3) 30°C ; 4) 40°C .
11. Чому дорівнює гідравлічний радіус потоку глибиною 1 м, який тече в прямокутному руслі шириною $2 \times 2 \text{ м}^2$?
12. За якою з приведених формул визначаються числа Re для русел довільного перерізу?
- 1) $\frac{Vd}{\mathcal{G}}$; 2) $\mu \cdot \frac{du}{dn}$; 3) $\frac{Q}{w}$; 4) $\frac{VR}{\mathcal{G}}$.
13. Вкажіть позначення, яке прийняте для гідравлічного радіуса:
- 1) R ; 2) r ; 3) Ω ; 4) w .
14. При якій з нижченаведених температур в'язкість газів буде максимальною?
- 1) 80°C ; 2) 100°C ; 3) 20°C ; 4) 50°C .
15. Чому дорівнює верхнє критичне значення числа Re для круглих труб?
- 1) 18000 ; 2) 2000 ; 3) 2320 ; 4) 13800 .
16. При якій із нижчеприведених температур в'язкість газів буде мінімальною?
- 1) 80°C ; 2) 100°C ; 3) 60°C ; 4) 20°C ;

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема: "Дослідження рівняння Бернуллі"

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.

Порядок виконання роботи:

Засвоїти розділи "Загальні відомості", "Опис обладнання" та "Порядок вимірювань" (20 хв.).

Підготувати звіт, який містить таблицю 2.1 та основні розрахункові формули (2.1), (2.2), (2.3), (10хв.).

Провести вимірювання на лабораторному обладнанні, обчислити необхідні параметри (20 хв.).

Перевірити у викладача вірність одержаних результатів та підписати їх (10 хв.).

Захистити виконану роботу та отримати позначку про залік цієї роботи (20 хв.).

Загальні відомості

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

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (2.1)$$

де Z - питома енергія положення;

$\frac{P_1}{\gamma}$ - питома потенціальна енергія стану;

$\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$ - 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:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad ,$$

g - прискорення вільного падіння.

Величина питомої енергії стосовно до потоку рідини вимірюється напором.

Тому з гідравлічних позицій:

Z - геометричний напір;

$\frac{P_2}{\gamma}$ - статичний напір;

$\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$ - 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. 2.1).

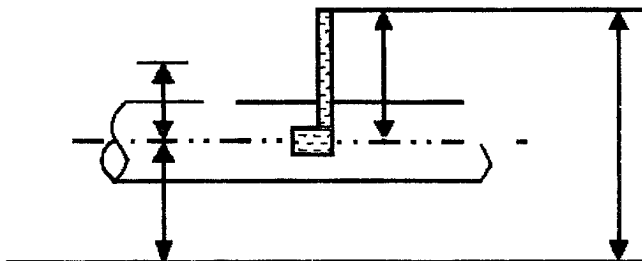


Рис. 2.1. Забір напорів

Якщо в довільному перерізі розмістити п'єзометр (ліва трубка), то по ньому 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'езометра 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.

Не вертаючись до вищенаведеного тексту, перевірте себе, відповівши на питання:

Що являють собою величини Z , $\frac{P}{\gamma}$, $\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$ з енергетичної точки зору та гідравлічної?

Чим вимірюється величина $\frac{P}{\gamma}$?

Як вимірюється величина $\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$?

Для чого проводиться площина порівняння та як вона проводиться для похилого та горизонтального потоків?

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

$$H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \quad (\text{повний напір у першому перерізі}) \quad (2.2)$$

$$H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \quad (\text{повний напір у другому перерізі}) \quad (2.3)$$

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

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} \quad (2.4)$$

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.2.2)

швидкісний напір у другому перерізі $\frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2q}$ зменшується в порівнянні з величиною $\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2q}$, відповідно збільшується і величина $\frac{P_2}{\gamma}$ таким чином, щоб сумарна величина тричлена в правій частині рівняння (2.1) 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:

$$h_{-2} = H_1 - H_2$$

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

$$h_{-2} = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2q} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2q} \right) \quad (2.5)$$

чи
$$h_{-2} = (Z_1 - Z_2) + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2 - \alpha_2 \cdot V_2^2}{2q} \quad (2.6)$$

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

$$h_{-2} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2 - \alpha_2 \cdot V_2^2}{2q} \quad (2.7)$$

Що називається повним напором?

Що називається втратою напору?

Як визначається втрата напору для горизонтального потоку постійного перерізу?

Яка рідина називається ідеальною?

Запишіть рівняння Бернуллі для ідеальної рідини.

Запишіть рівняння Бернуллі для в'язкої рідини.

3. Складові повного напору та величину втрат напору між двома перерізами для наочності можна подати графічно (рис. 2.2.).

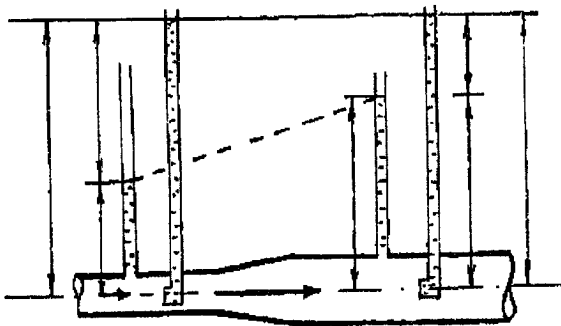


Рис.2.2. Перерозподіл напорів при русові ідеальної рідини

Лінія, яка з'єднує покази трубок Піто, називається напірною лінією (на рисунку 2.2 – неперервна), а покази п'езометрів, (пунктирна) – п'езометричною лінією.

Напірна лінія завжди має нахил у бік руху рідини, оскільки повний напір (енергія) вздовж потоку може тільки зменшуватися. Нахил п'езометричної лінії може бути довільним.

Нахил напорної лінії характеризується гідравлічним нахилом:

$$I = \frac{h_{1-2}}{l_{1-2}}, \quad (2.8)$$

$$\text{чи} \quad I = \frac{d \left(Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g} \right)}{dl}, \quad (2.9)$$

де l_{1-2} – відстань між перерізами.

П'єзометричний нахил визначається з формул:

$$I_p = \frac{h^{p_i-2}}{l_{i-2}}, \quad (2.10)$$

$$I_p = \frac{d(Z + P/\gamma)}{dl}, \quad (2.11)$$

Яка лінія називається напірною, а яка - п'єзометричною?

Чи може п'єзометрична лінія проходити вище за напірну?

Чи можуть напірні та п'єзометричні лінії перетинатися?

Чим характеризується нахил напірної лінії?

Опис обладнання

Установка являє собою горизонтальний трубопровід (рис.2.3) 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.

Порядок вимірювань

На лабораторному обладнанні при постійній витраті води виміряти такі дані та результати занести до таблиці 2.1:

- 1) діаметри ділянок трубопроводу d (см);
- 2) час наповнення t мірного бака на висоту $h=10-15$ см з точністю до 1 с.;
- 3) діаметр мірного бака D (см);
- 4) покази п'єзометрів з точністю до 1 мм.

Порядок обчислень

За вимірними даними обчислити такі параметри та занести їх до таблиці 2.1:

- 1) площу поперечного перерізу ділянок трубопроводу з точністю до 1 см^2 ;
- 2) площу поперечного перерізу мірного бака з точністю до 1 см^2 ;
- 3) об'єм води в баку W з точністю до 1 см^3 ;
- 4) витрату води Q з точністю до $1 \text{ см}^3/\text{с}$;
- 5) середню швидкість у перерізах з точністю до $0,1 \text{ см}/\text{с}$, $V = Q/W$;
- 6) швидкісний напір у перерізах з точністю до $0,01 \text{ см}$, $\frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$, де $\alpha = 1$.

7) повний напір у перерізах :

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2q}$$

8) втрату напору між перерізами:

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2q} ; h_{2-3} = H_2 - H_3$$

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

10) побудова графіків п'езометричної та напірної лінії проводиться таким чином. На останній сторінці звіту зображується досліджувана ділянка трубопроводу в масштабі: горизонтальний 1:20 (1 см – 2 мм), а вертикальний 1:10 (1 см – 1 мм). В перерізах по вертикалі відкладаються величини статичних та швидкісних напорів, як зображено на рис. 2.3.

Статичні напори з'єднуються пунктирною лінією, а повні напори – неперервною. Усі напори слід позначати.

Таблиця 2.1

Таблиця результатів

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



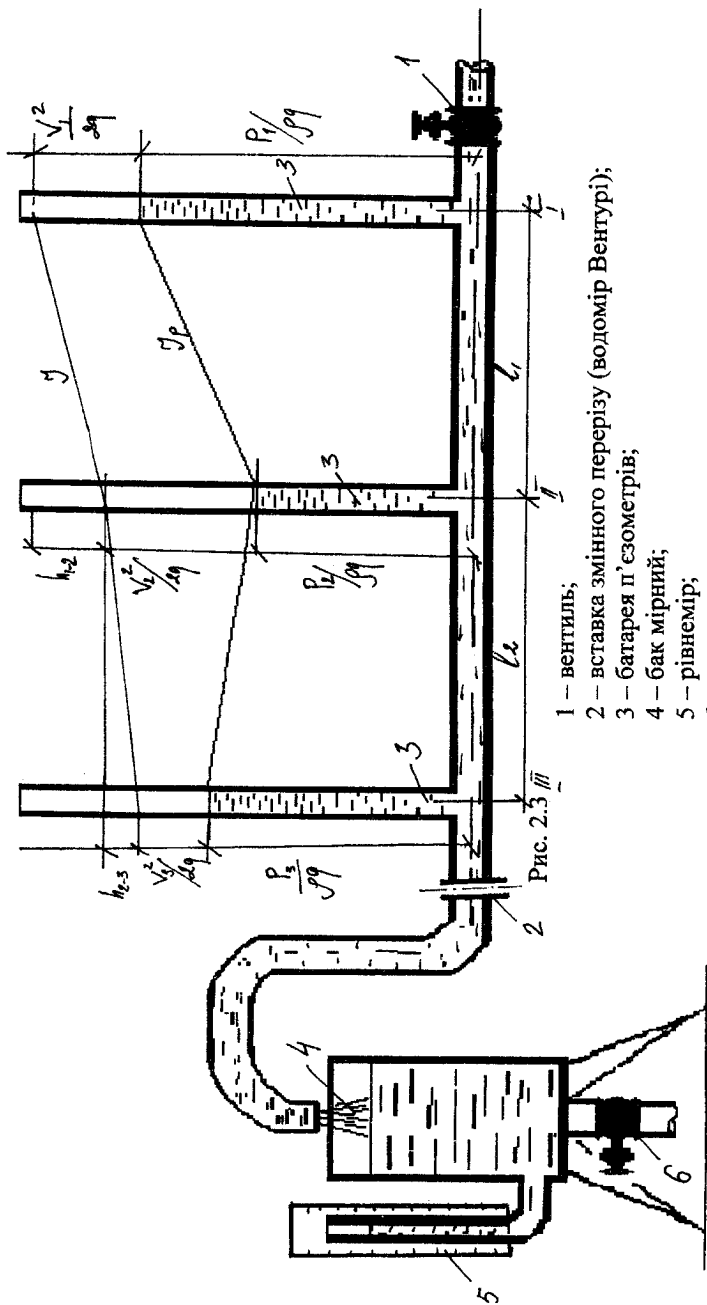


Рис. 2.3 III

- 1 — вентиль;
- 2 — вставка змінного перерізу (водомір Вентури);
- 3 — батарея п'єзометрів;
- 4 — бак мірний;
- 5 — рівнемір;
- 6 — кран зливний

Контрольні запитання до лабораторної роботи №2

1. Записати рівняння Бернуллі для потоку ідеальної рідини.
2. Записати рівняння Бернуллі для потоку в'язкої рідини.
3. Чим відрізняється гідродинамічний напір від швидкісного?
4. Що являє собою напірна лінія?
5. Як та яким приладом можна виміряти:
 - а) п'єзометричний напір;
 - б) повний напір;
 - в) швидкісний напір.
6. У чому полягає різниця між лініями повного напору при русі ідеальної та в'язкої рідини?
7. Які з тверджень будуть вірні при русі ідеальної рідини:
 - лінія повного напору відносно напрямку руху рідини
 - а) завжди горизонтальна;
 - б) має нахил за напрямком руху рідини;
 - в) може підніматися;
 - г) може підніматися чи опускатися за напрямком руху рідини в залежності від характеру зміни перерізу потоку;
 - лінія п'єзометричного напору відносно напрямку руху рідини
 - а) завжди горизонтальна;
 - б) завжди піднімається;
 - в) завжди опускається;
 - г) піднімається чи опускається в залежності від характеру зміни перерізу потоку.
8. Які з тверджень п.7 будуть справедливі при русі в'язкої рідини?
9. Проаналізуйте положення напірних ліній на схемах та знайдіть вірні з них для випадків руху:
 - а) ідеальної рідини;
 - б) в'язкої рідини.

Тема : “Визначення втрат напору по довжині”

Мета роботи:

1. Засвоїти основні поняття:
 - втрати напору по довжині;
 - формула Дарсі-Вейсбаха;
 - коефіцієнт гідравлічного тертя;
 - еквівалентна шорсткість;
 - порядок розрахунку втрат напору.
2. Визначити експериментальним шляхом величину втрат напору по довжині при заданих витратах.
3. Обчислити величину втрат напору по довжині за формулою Дарсі-Вейсбаха за тих же умов.
4. Порівняти експериментальні та розрахункові результати.
5. Обчислити середню величину гідравлічного нахилу за експериментальними даними.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитися з розділами “Загальні відомості”, “Опис обладнання”, “Порядок вимірювань” (25 хв.).
2. Підготувати звіт, який містить у собі таблицю 3.1 та основні розрахункові формули (3.1), (3.2), (3.3) (15 хв.).
3. Провести дослід та обчислити необхідні величини (30 хв.).
4. Перевірити вірність одержаних результатів та підписати їх у викладача.
5. Захистити роботу (20 хв.).

Загальні відомості:

Рух рідини, як і рух будь-яких тіл, виникає під дією наданої їй енергії. У реальних умовах будь-який рух супроводжується появою сил, які чинять йому опір (сили тертя, сили опору середовища). Тому частина наданої тілу енергії витрачається на подолання цих сил. Енергія рухомої рідини вимірюється напором. Частина напору, що витрачається на подолання сил опору, називається втратою напору та позначається h . Втрата напору при русі рідини у трубопроводі відбувається внаслідок в'язкості рідини та шорсткості стінок. Відомо, що чим більш в'язка рідина та чим більш шорсткі стінки, тим більші будуть втрати напору на подолання сил в'язкості та сил тертя. Цей вид втрат напору прямо пропорційний довжині трубопроводу та розподілений рівномірно по всій довжині. Тому ці втрати напору називають втратами напору по довжині. При розв'язуванні інженерних задач часто виникає необхідність розрахувати величину очікуваної втрати напору по довжині в проєктованому трубопроводі.

Втрати напору по довжині визначаються за так званою формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h = \lambda \frac{lV^2}{d \cdot 2g}, \quad (3.1)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя чи коефіцієнт Дарсі;
 l - довжина ділянки трубопроводу, на якій визначається втрата напору;
 d - внутрішній діаметр трубопроводу;
 V - середня швидкість потоку рідини у трубопроводі;
 g - прискорення вільного падіння.

Не вертаючись до вищеприведеного тексту дайте відповідь на запитання:

Як у гідравліці називається енергія рухомого потоку рідини?

Що є причиною втрат енергії при русі рідини?

Як розподіляються втрати напору по довжині трубопроводу та чому?

Запишіть по пам'яті формулу Дарсі-Вейсбаха.

Для чого визначають втрати напору?

Від чого залежить коефіцієнт гідравлічного тертя?

Як правило, у гідравлічних розрахунках для знаходження втрат напору по довжині всі величини, які входять до формули Дарсі-Вейсбаха (крім коефіцієнта гідравлічного тертя), відомі. Тому задача зводиться до знаходження його числового значення. В гідравліці відомі різні формули для знаходження коефіцієнта гідравлічного тертя.

При наявності ламінарної течії в круглих трубах коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулою:

$$\lambda = 64/R_e,$$

де R_e - число Рейнольдса.

Для напірних шорстких технічних труб при турбулентному потоці порівняно точні результати дає формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\kappa_s}{d} + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25}, \quad (3.2)$$

де κ_s - еквівалентна шорсткість.

Еквівалентна шорсткість характеризує середню висоту виступів шершавості внутрішньої поверхні трубопроводу, їх форму та розподіл по поверхні. Числове значення коефіцієнта залежить від матеріалу та стану труб і наводиться в довідниках.

Друга величина, яка входить до формули Альтшуля, характеризує режим течії та залежить від числа Рейнольдса.

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} , \quad (3.3)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, який залежить від роду рідини та її температури та подається у довідниках.

З двох складових у дужках у формулі Альтшуля (3.2) величина $\frac{\kappa_2}{d}$

є постійною для даного трубопроводу. Друга складова $\frac{68}{Re}$ залежить від швидкості: чим швидкість більша, тим складова менша та навпаки, тобто існує обернено пропорційна залежність. Якщо складові відрізняються на два порядки та більше, то меншою складовою можна знехтувати.

Отже, для розрахунку втрат напору по довжині за формулою Дарсі-Вейсбаха необхідно:

- 1) визначити число Рейнольдса;
- 2) визначити з довідника значення κ_2 ;
- 3) визначити коефіцієнт гідравлічного тертя λ .

Чим характеризується еквівалентна шершавість?

Запишіть формулу, за якою визначається число Рейнольдса.

Чи залежить число Рейнольдса від швидкості потоку?

Перерахуйте порядок визначення втрат напору по довжині.

Коли можна знехтувати однією із складових у дужках в формулі Альтшуля?

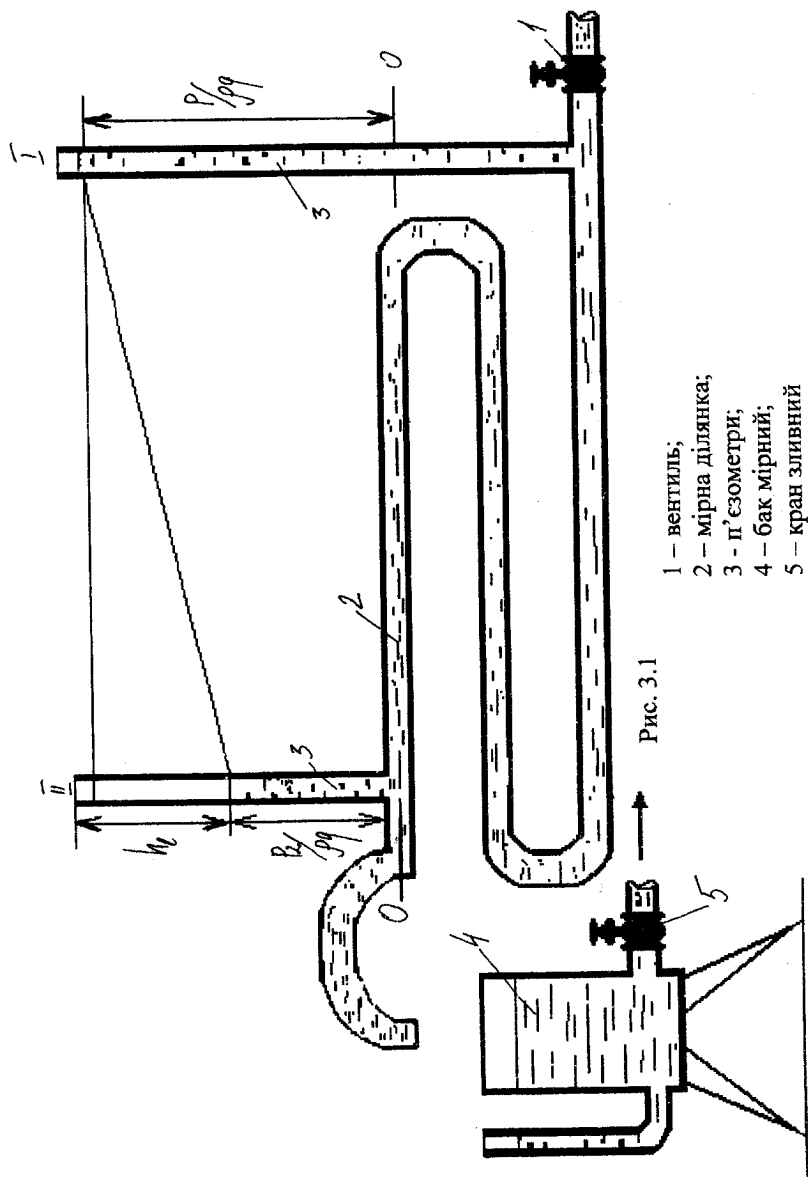
Опис обладнання

Дослідне визначення втрат напору по довжині виконується на експериментальному обладнанні, схема якого зображена на рис. 3.1.

Установка являє собою горизонтальну ділянку трубопроводу постійного діаметра довжиною 18 метрів, яким подається рідина.

Установка обладнана такими приладами:

- регулювальний вентиль 1, за допомогою якого в трубопроводі встановлюються різні витрати рідини;
- п'єзометри 3, за якими визначається втрата напору по довжині трубопроводу;



- 1 — вентиль;
- 2 — мірна ділянка;
- 3 — п'езометри;
- 4 — бак мірний;
- 5 — кран зливний

Рис. 3.1

- 4 - мірний бак діаметром 26 см з водомірним склом, за показами якого та з використанням секундоміра визначається об'єм води, який надходить до баку за час t ;
- кран зливний 5, за допомогою якого рідина з бака випускається у водопровідну магістраль.

Порядок вимірювань

При постійній витраті води в трубопроводі виміряти та занести до таблиці 3.1 такі дані (кількість дослідів задається викладачем):

- 1) покази п'езометрів $\frac{P_1}{\rho \cdot g}$ та $\frac{P_2}{\rho \cdot g}$ з точністю до 1 мм;
- 2) висоту підйому рівня води в бачку h_6 (~2см);
- 3) час підйому рівня води на висоту h_6 ;
- 4) занести до таблиці 3.1 всі виміряні величини а також постійні характеристики установки, які наведені в її паспорті (на плакаті біля установки).
- 5) число Рейнольдса з точністю до 1000 за формулою (3.3), коефіцієнт кінематичної в'язкості води прийняти рівним $0.1 \text{ см}^2/\text{с}$;
- 6) коефіцієнт гідравлічного тертя з точністю до 0,001 за формулою Альтшуля (3.2);
- 7) втрати напору по довжині з точністю до 1 см за формулою (3.1);
- 8) коефіцієнт розходження між виміряними та обчисленими втратами напору з точністю до 0,1%.

Порядок обчислень

За виміряними даними обчислити такі параметри та занести їх до таблиці 3.1 :

- 1) виміряти втрату напору по довжині

$$h = \frac{P_1}{\rho \cdot g} - \frac{P_2}{\rho \cdot g}$$

- 2) об'єм води в мірному бачку

$$W = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_6}{4}, \text{ де } d - \text{діаметр бака};$$

- 3) витрату води $Q = \frac{W}{t}$

- 4) середню швидкість потоку з точністю до 1 см/с

$$V = \frac{Q}{w}$$

де Q - площа поперечного перерізу трубопроводу ;

5) гідравлічний нахил $I = \frac{h}{l}$

Таблиця 3.1

Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
1	2	3	4	5
Діаметр трубопроводу	d	см		
Площа поперечного перерізу трубопроводу	w	см ²		
Довжина ділянки	l	см		
Еквівалентна шорсткість	κ_s	см		
Покази 1- го п'езометра	$\frac{P_1}{\rho \cdot g}$	мм		
Покази 2- го п'езометра	$\frac{P_2}{\rho \cdot g}$	мм		
Виміряні втрати напору	h_s	мм		
Діаметр мірного бака	D	см		
Висота підйому рівня води в баці	h_b	мм		
Об'єм води в баці	W	см ³		
Час наповнення бака	t	с		
Витрата води	Q	см ³ /с		
Число Рейнольдса	Re			
Середня швидкість	V	см/с		
Коефіцієнт гідравлічного тертя	λ			

1	2	3	4	5
Обчислені втрати напору	h_p	мм		
Коефіцієнт розходження	δ	%		
Гідрравлічний нахил	I	-		

Контрольні запитання до лабораторної роботи №3

1. Що таке “напір рідини” ? Записати формулу повного напору рідини в перерізі.
2. Записати формулу повного гідростатичного напору.
3. Чим відрізняється гідростатичний напір від швидкісного напору рідини?
4. Записати розгорнуту формулу втрат повного напору між двома перерізами потоку.
5. Записати формулу втрат напору між двома перерізами потоку в круглих горизонтальних трубах, який рухається з постійною витратою.
6. Яка розмірність напору?
7. Що таке гідрравлічний нахил та яка його розмірність?
8. Записати формулу числа Рейнольдса.
9. Яка розмірність цього параметра?
10. В чому полягає різниця між еквівалентною та реальною шорсткістю стінок труби?
11. Записати формулу Альтшуля для розрахунку коефіцієнта λ .
12. В яких одиницях вимірюється кінематична в'язкість рідини?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4
Тема: "Визначення коефіцієнта Шезі"

Мета роботи:

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

Порядок виконання роботи:

1. Засвоїти розділи: "Загальні відомості", "Опис обладнання", "Порядок вимірювань" (25 хв.).
2. Підготувати звіт, який містить у собі таблицю 4.1, основні розрахункові формули (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) та (4.5) (15 хв.).
3. Провести дослід та обчислити необхідні величини (30 хв.).
4. Перевірити у викладача правильність одержаних результатів та одержати позначку про виконання роботи (10 хв.).
5. Захистити роботу та одержати позначку про залік цієї роботи (10 хв.).

Загальні відомості

Однією з найбільш поширених задач гідравліки є визначення витрати рідини у трубопроводі чи руслі. Відомо, що чим більшою має бути витрата, тим більші, за інших рівних умов, будуть і затрати енергії.

З розрахункових залежностей, які пов'язують витрату рідини з втратами напору, широко використовується формула французького вченого Антуана Шезі (1775 р.), так звана формула Шезі :

$$Q = w \cdot c \cdot \sqrt{I \cdot R} \quad , \quad (4.1)$$

- де
- Q - витрата рідини;
 - w - площа поперечного перерізу потоку;
 - c - коефіцієнт Шезі;
 - R - гідравлічний радіус потоку;
 - I - гідравлічний нахил.

Розглянемо величини, які входять до правої частини формули (4.1). Гідравлічним радіусом називається відношення площі поперечного перерізу потоку w до довжини його змоченого периметра стикання з

стінами, що обмежують його,

$$R = \frac{w}{\lambda} . \quad (4.2)$$

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 d

$$R = \frac{d}{4} . \quad (4.3)$$

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

$$I = \frac{h}{l} . \quad (4.4)$$

Не вертаючись до вищенаведеного тексту, перевірте себе, відповівши на запитання:

Запишіть витратну формулу Шезі.

Що називається гідравлічним радіусом?

Чому дорівнює гідравлічний радіус для напірного потоку в круглій трубі?

Для чого в гідравліці використовують поняття гідравлічного радіуса?

Як визначається гідравлічний нахил?

Який фізичний зміст виразу $c\sqrt{I \cdot R}$ у витратній формулі Шезі?

Коефіцієнт Шезі, який входить до формули (4.1), залежить від шорсткості стінок та гідравлічного радіуса. У гідравліці є декілька емпіричних формул для його визначення. Найбільш простою є формула Манінга:

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} , \quad (4.5)$$

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

Коефіцієнт Шезі, на відміну від коефіцієнта шорсткості, має розмірність, яку можна одержати, підставивши розмірність всіх величин в формулу (4.1). Розмірність коефіцієнта Шезі $\left[\frac{L^{1/2}}{T} \right]$. З формули (4.5)

виходить, що величина коефіцієнта Шезі обернено пропорційна величині коефіцієнта шорсткості. Із збільшенням коефіцієнта шорсткості стінок коефіцієнт Шезі зменшується. Це приводить до зменшення витрати рідини. Таким чином, чим більше значення c для русел даних розмірів, тим

більша буде і витрата.

- За якою формулою можна визначити коефіцієнт Шезі?
- Як визначити числове значення коефіцієнта шорсткості?
- Чому із збільшенням шершавості значення коефіцієнта Шезі зменшується?
- Чому із збільшенням коефіцієнта Шезі росте витрата?
- Яка розмірність коефіцієнта Шезі?

Опис обладнання

Дослідне визначення коефіцієнта Шезі виконується на експериментальному обладнанні, схема якого наведена на рис.4.1.

Установка являє собою прямолінійну горизонтальну ділянку трубопроводу сталого діаметра, по якому подається рідина. Установка обладнана такими приладами:

- 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 .
- PВ - регульовальний вентиль, за допомогою якого в трубопроводі встановлюються різні витрати.

Порядок вимірювань

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

- 1) покази п'езометрів $\frac{P_1}{\rho \cdot q}$ та $\frac{P_2}{\rho \cdot q}$ з точністю до 1 мм;
- 2) висоту піднімання рівня води у мірному баці (від 2 до 5 см);
- 3) час піднімання рівня води на висоту h_6 з точністю до 1 с;
- 4) занести до таблиці 4.1 також постійні характеристики установки, наведені в її паспорті (плакат біля установки).

Порядок розрахунків

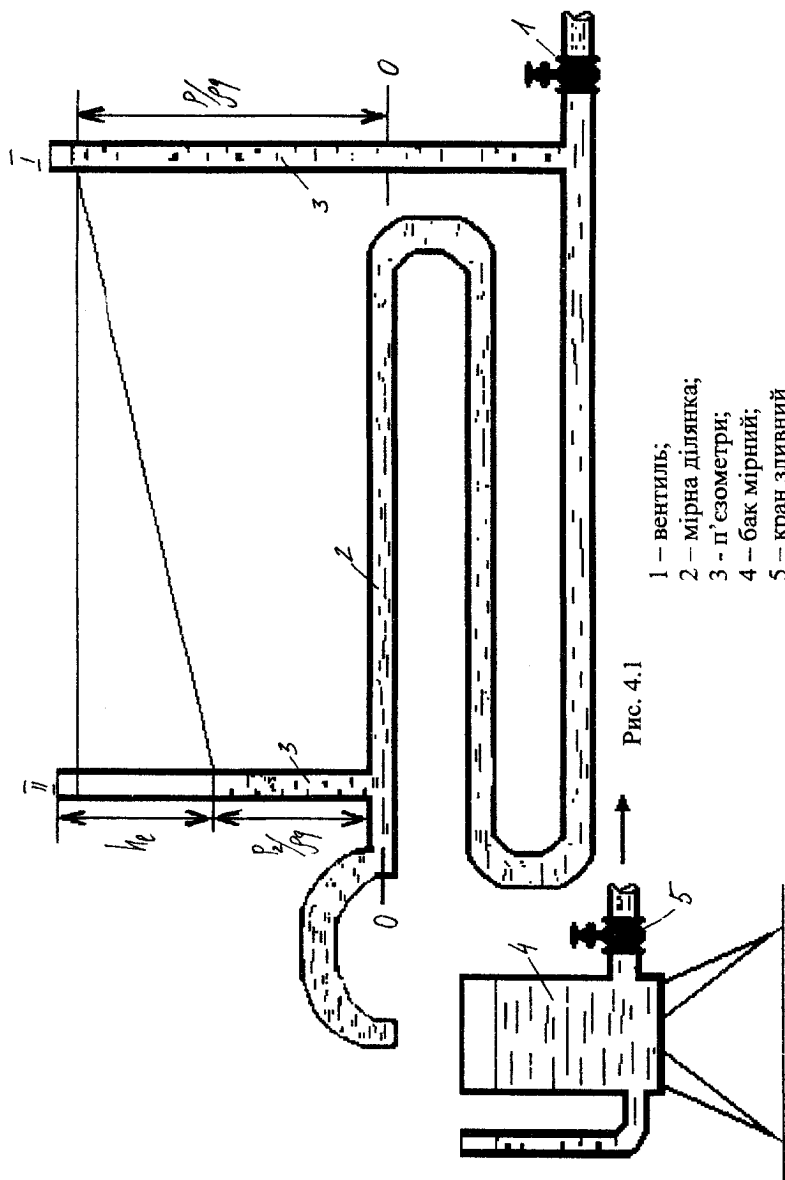
За вимірними даними обчислити такі параметри та занести їх до таблиці 4.1:

- 1) виміряні втрати напору по довжині

$$h = \frac{P_1}{\rho \cdot q} - \frac{P_2}{\rho \cdot q}, \text{ см}$$

- 2) об'єм води у мірному баці

$$W = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_6}{4}, \text{ см}^3$$



- 1 – вентиль;
- 2 – мірна ділянка;
- 3 – п'єзометри;
- 4 – бак мірний;
- 5 – кран зливний

Рис. 4.1

3) витрату води

$$Q = \frac{W}{t}, \text{ см}^3/\text{с}$$

4) гідравлічний нахил з точністю до 0,001 за формулою (4.4);

5) гідравлічний радіус з точністю до 0,1 см за формулою (4.3);

6) дослідне значення коефіцієнта Шезі за перетвореною формулою (4.1) з точністю до $10 \text{ см}^2/\text{с}$;

7) розрахункове значення коефіцієнта Шезі C_p за формулою Манінга (4.5) з точністю до $10 \text{ см}^2/\text{с}$;

8) 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 4.1

Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
1	2	3	4	5
Діаметр труби	d	см		
Площа перерізу	w	см ²		
Довжина ділянки	l	см		
Коефіцієнт шорсткості	n	-		
Покази 1-го п'езометра	$\frac{P_1}{\rho \cdot g}$	мм		
Покази 2-го п'езометра	$\frac{P_2}{\rho \cdot g}$	мм		
Втрата напору	h	мм		
Діаметр мірного бака	d	мм		

1	2	3	4	5
Висота рівня води у баці	h_b	мм		
Об'єм води у баці	W	см ³		
Витрата води	Q	см ³ /с		
Гідравлічний радіус	R	см		
Дослідне значення коефіцієнта Шезі	C_0	см ^{1/2}		
Гідравлічний нахил	I			
Розрахункове значення коефіцієнта Шезі	C_p	см ^{1/2} /с		
Коефіцієнт розходження	δ	%		

Контрольні запитання до лабораторної роботи №4

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. Якими параметрами визначається величина коефіцієнта Шезі?
9. Запишіть формулу Манінга для знаходження коефіцієнта Шезі.
10. Яка розмірність коефіцієнта Шезі?
11. Поясніть зв'язок між шорсткістю стінок, величиною коефіцієнта Шезі та витратою потоку?

Лабораторна робота №5

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.

Порядок виконання роботи:

1. Засвоїти матеріал розділів: “Загальні відомості”, “Опис обладнання”, “Порядок вимірювань” (25 хв.).
2. Підготувати звіт, який містить у собі таблицю 5.1 та основні розрахункові формули (15хв.).
3. Провести дослід та обчислити необхідні дані (20 хв.).
4. Перевірити у викладача правильність одержаних результатів та отримати позначку про виконання роботи (10 хв.).
5. Захистити роботу та одержати позначку про залік цієї роботи (20 хв.).

Загальні відомості

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

- а) втрати напору по довжині;
- б) 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. Виникаючі при цьому гідравлічні удари та

завихрення призводять до втрат енергії, які безповоротно губляться.

Втрати напору визначаються за формулою Вейсбаха:

$$h_{м.о.} = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (5.1)$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору;

V - середня швидкість потоку в трубопроводі після місцевого опору.

Не вертаючись до вищенаведеного тексту, перевірте себе, давши відповідь на такі запитання:

Назвіть два види втрат напору

Який з видів втрат напору рівномірно розподілений вздовж всього потоку та чим він викликаний?

Що називається місцевим опором?

Чому в місцевому опорі виникають втрати напору?

Запишіть формулу, за якою визначаються втрати напору та назвіть величини, які входять до неї.

Яке значення середньої швидкості - до чи після місцевого опору - входить до формули Вейсбаха?

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

Природньо припустити, що чим складнішим є місцевий опір, тим більш значні виникають деформації потоку в ньому та тим більші 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.

Чи залежить коефіцієнт місцевого опору від його конфігурації та будови?

Як визначити втрати напору на місцевому опорі при гідравлічному розрахунку втрат?

Яка мета цієї роботи?

Опис обладнання

Експериментальна установка для визначення коефіцієнтів місцевих опорів 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 визначення витрати рідини у трубопроводі встановлено регулювальний вентиль. Вимірювання витрати рідини здійснюється за допомогою мірного бака з водомірним склом та секундоміром. Слід звернути увагу на те, що трубопровід зроблений з окремих ділянок різного діаметра!

Порядок вимірювань

При постійній витраті рідини у трубопроводі виміряти та занести до таблиці 5.1 такі дані:

- 1) діаметр трубопроводу d , площу поперечного перерізу w ;
- 2) час t піднімання рівня води у мірному баці на висоту 5 см;
- 3) покази всіх п'єзометрів до та після місцевих опорів з точністю до 1 мм;
- 4) занести до таблиці значення постійних величин установки.

Порядок обчислень

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

- 1) об'єм води у мірному баці

$$W = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_6, \text{ см}^3$$

де d - діаметр бака;

h_6 - висота піднімання води у баці.

- 2) витрату води в установці

$$Q = \frac{W}{t}, \quad \text{см}^3/\text{с}$$

- 3) середню швидкість потоку з точністю до 1 см/с до та після опорів

$$V = \frac{Q}{w}, \quad \text{см/с}$$

- 4) швидкісний напір у перерізах до та після опорів

$$\frac{V^2}{2g}, \quad \text{см/с}$$

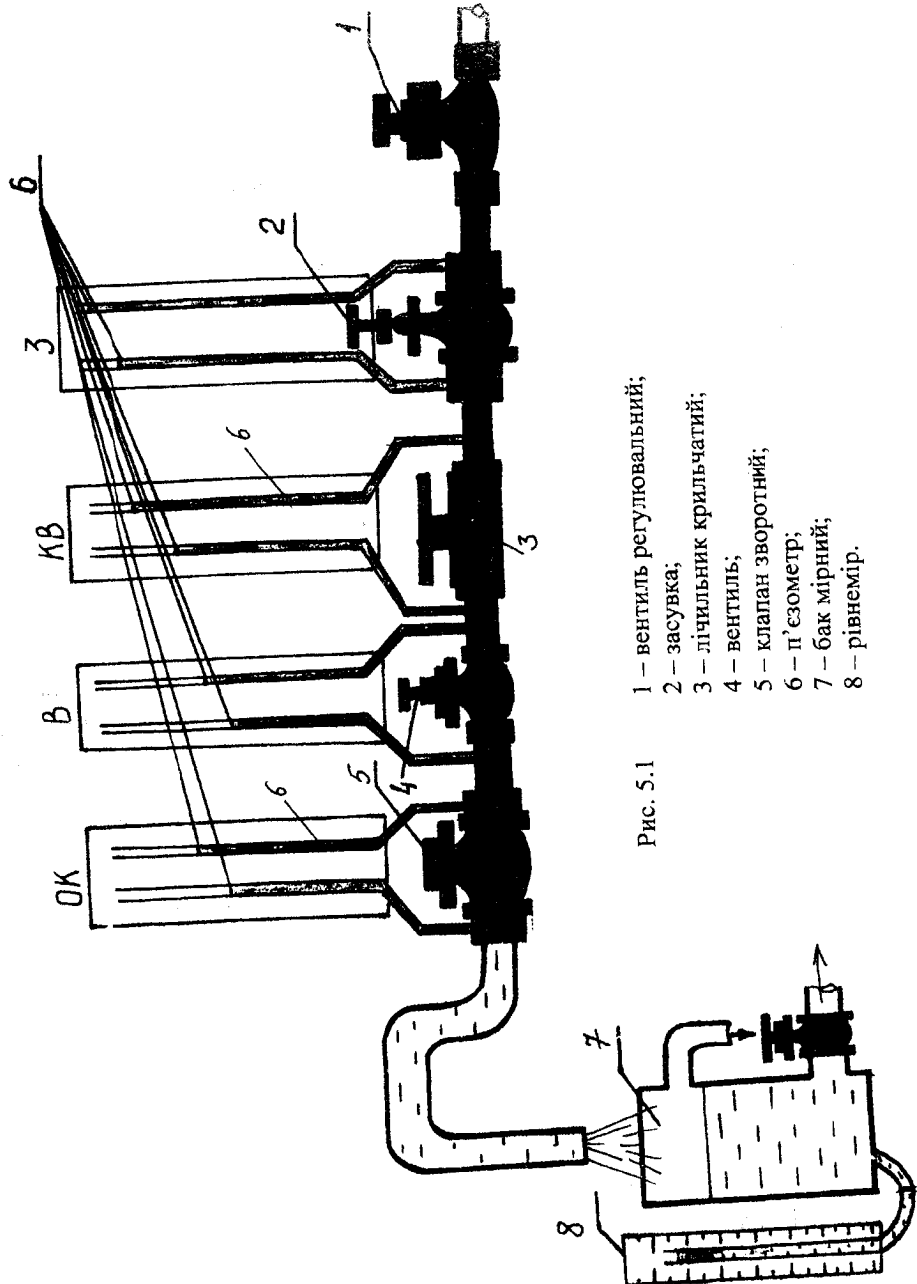


Рис. 5.1

- 1 — вентиль регулювальний;
- 2 — засувка;
- 3 — лічильник крильчатий;
- 4 — вентиль;
- 5 — клапан зворотний;
- 6 — п'єзометр;
- 7 — бак мірний;
- 8 — рівнемір.

5) повний напір у перерізах до та після опорів

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}, \text{ см}$$

6) втрату напору у місцевому опорі

$$h = H_1 - H_2, \text{ см}$$

де H_1 - повний напір у перерізі до даного опорю;

H_2 - повний напір у перерізі після даного опорю.

7) коефіцієнти місцевих опорів з точністю до 1,0 (за швидкісним напором опорю).

Контрольні запитання до лабораторної роботи №5

1. Запишіть формулу Вейсбаха для місцевих втрат напору.
2. Поясніть фізику явища виникнення втрат енергії в місцевих опорах.
3. У чому різниця між фізичними явищами, які викликають втрати енергії по довжині потоку та втрати енергії на місцевих опорах?
4. Побудуйте лінії повного та п'езометричного напорів при раптовому розширенні напірного потоку (зміна з меншого на більший діаметр труби) та поясніть характер їх змін.
5. Яка розмірність коефіцієнта місцевого опорю?
6. Чи залежить (та поясніть в якій мірі) величина місцевих втрат у вентиля від:
 - а) ступеня перекриття потоку?
 - б) витрати потоку в трубі?
 - в) геометричних розмірів вентиля?
7. Як і наскільки зміниться величина місцевих втрат у засувці, якщо
 - а) витрата потоку в трубі збільшиться в два рази, а ступінь перекриття потоку не зміниться?
 - б) зміниться ступінь перекриття потоку і при цьому коефіцієнт місцевого опорю збільшиться в 4 рази, а витрата потоку зменшиться в 2 рази?

Таблиця 5.1

Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Вид місцевого опорю			
			Засувка	Водомір	Вентиль	Клапан зворот.
1	2	3	4	5	6	7
Діаметр трубопроводу	d_1	мм				
Діаметр трубопроводу після опорю	d_2	мм				

1	2	3	4	5	6	7
Площа поперечного перерізу до опору	w_1	см^2				
Площа поперечного перерізу після опору	w_2	см^2				
Діаметр мірного бака	d	мм				
Висота підняття рівня води у мірному баці	h_6	см				
Час підняття рівня води у мірному баці	t	с				
Об'єм води у мірному баці	W	см^3				
Витрата води	Q	$\text{см}^3/\text{с}$				
Середня швидкість води до опору	V_1	см/с				
Середня швидкість води після опору	V_2	см/с				
Швидкісний напір до опору	$\frac{V_1^2}{2g}$	см				
Швидкісний напір після опору	$\frac{V_2^2}{2g}$	см				
Покази п'езометрів до опору	$\frac{P_1}{\gamma}$	см				
Покази п'езометрів після опору	$\frac{P_2}{\gamma}$	см				
Повний напір до опору	H_1	см				
Повний напір після опору	H_2	см				
Втрата напору в місцевому опорі	h	см				
Коефіцієнт місцевого опору	ξ	-				

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема: “Визначення коефіцієнта гідравлічного тертя”

Мета роботи:

1. Засвоїти такі основні поняття:
 - втрати напору по довжині;
 - формула Дарсі – Вейсбаха;
 - коефіцієнт гідравлічного тертя;
 - еквівалентна шершавість;
 - порядок розрахунку втрат напору.
2. Визначити експериментальним шляхом коефіцієнт гідравлічного тертя при заданих витратах.
3. Обчислити коефіцієнт гідравлічного тертя за допомогою формули Альтшуля за тих же умов.
4. Порівняти експериментальні та розрахункові результати.
5. Обчислити середню величину гідравлічного нахилу за експериментальними даними.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитись з матеріалом розділів “Загальні відомості”, “Опис обладнання” та “Порядок вимірювань” (25 хв.).
2. Підготувати звіт, який містить у собі таблицю 6.1 та основні розрахункові формули (6.1), (6.2), (6.3), (15 хв.).
3. Провести дослід та обчислити необхідні величини (30 хв.).
4. Перевірити вірність отриманих результатів у викладача та одержати позначку про виконання роботи (10 хв.).
5. Захистити роботу та одержати позначку про залік цієї роботи (10 хв.).

Загальні відомості:

Рух рідини, як і рух будь-яких тіл, виникає під дією наданої їй енергії. У реальних умовах будь-який рух супроводжується появою сил, які чинять йому опір (сили тертя, сили опору середовища). Тому частина наданої тілу енергії витрачається на подолання цих сил. Енергія рухомої рідини вимірюється напором. Частина напору, яка витрачається на подолання опору, називається “втратою напору” та позначається h . Втрата напору при русі рідини у трубопроводі відбувається внаслідок в’язкості рідини та шершавості стінок.

Чим більш в’язка рідина та чим більш шершаві стінки, тим більші будуть і втрати напору на подолання сил в’язкості та сил тертя.

Цей вид втрат напору прямо пропорційний довжині трубопроводу та

розподілений рівномірно по всій довжині. Тому ці втрати напору називаються “втратами напору по довжині”. При розв’язуванні інженерних задач часто виникає необхідність обчислити величину очікуваної втрати напору по довжині в проєктованому трубопроводі.

Втрати напору по довжині визначаються за так званою формулою Дарсі -Вейсбаха:

$$h = \lambda \cdot \frac{l \cdot V^2}{d \cdot 2g} \quad (6.1)$$

де λ -коефіцієнт гідравлічного тертя чи коефіцієнт Дарсі;

l -довжина ділянки трубопроводу, на якій визначається втрата напору;

d - внутрішній діаметр трубопроводу;

V - середня швидкість потоку рідини у трубопроводі;

g -прискорення вільного падіння.

Не вертаючись до вищеприведеного тексту, дайте відповідь на такі запитання:

Як в гідравліці називається енергія рухомого потоку рідини?

Що є причиною втрат енергії при русі рідини?

Як розподіляються втрати напору по довжині трубопроводу та чому?

Запишіть по пам’яті формулу Дарсі - Вейсбаха.

Для чого визначаються втрати напору?

Від чого залежить коефіцієнт гідравлічного тертя?

Як правило, в гідравлічних розрахунках для знаходження втрат напору по довжині всі величини, які входять до формули Дарсі - Вейсбаха (крім коефіцієнта гідравлічного тертя), відомі.

Тому задача зводиться до знаходження його числового значення. В гідравліці відомі різні формули для знаходження коефіцієнта гідравлічного тертя. При наявності ламінарної течії в круглих трубах коефіцієнт гідравлічного тертя визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Порівняно точні результати для напірних шершавих технічних труб при турбулентності течії дає універсальна формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\kappa_\varepsilon}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (6.2)$$

де κ_ε - еквівалентна шорсткість;

Re - число Рейнольдса.

Еквівалентна шорсткість характеризує середню висоту виступів шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу, їх форму та розподіл по поверхні. Числове його значення залежить від матеріалу і стану труб та наводиться в довідниках.

Друга величина, яка входить до формули Альтшуля, називається числом Рейнольдса, характеризує режим течії та визначається за формулою:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}, \quad (6.3)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, залежить від роду рідини та її температури і наводиться в довідниках;

d - діаметр труб;

V - швидкість потоку рідини.

Перша складова у дужках у формулі Альтшуля (6.2), величина $\frac{\kappa_\varepsilon}{d}$, є постійною для даного трубопроводу. Друга складова залежить від швидкості: чим більша швидкість, тим ця складова менша та навпаки. Якщо вони відрізняються на два порядки та більше, то меншою складовою можна знехтувати.

Отже, для обчислення втрат напору по довжині за формулою Дарсі - Вейсбаха необхідно визначити :

- 1) число Рейнольдса;
- 2) за довідником значення κ_ε ;
- 3) коефіцієнт гідравлічного тертя λ .

Мета роботи полягає у визначенні числового значення λ дослідним шляхом за формулою Дарсі - Вейсбаха, оскільки всі інші величини, які входять до неї, можна виміряти на експериментальній установці. Оцінити точність експериментально одержаного значення λ_k можна шляхом порівняння його із значенням λ_p , обчисленим за формулою Альтшуля.

Що характеризує еквівалентна шершавість?

Запишіть формулу, згідно з якою визначається число Рейнольдса.

Чи залежить число Рейнольдса від швидкості потоку?

Коли можна знехтувати однією складовою в дужках у формулі Альтшуля?

Сформулюйте мету даної роботи.

Опис обладнання

Дослідне визначення гідравлічного тертя проводиться на експериментальному обладнанні, схема якого подана на рис. 6.1.

Установка являє собою прямолінійну горизонтальну ділянку трубопроводу постійного діаметра, по якому подається вода. Установка обладнана такими приладами:

- 3 – п'езометрами, за показами яких визначається втрата напору по довжині трубопроводу;
- 4 – мірним баком з водомірним склом, за показами якого за допомогою секундоміра визначається втрата води;
- 5 – РВ –регульовальним вентиляем, за допомогою якого в трубопроводі встановлюються різні витрати.

Порядок вимірювань

При постійній витраті води у трубопроводі виміряти та занести до таблиці 6.1 такі дані (кількість дослідів задається викладачем):

- 1) покази п'езометрів $\frac{P_1}{\rho g}$ та $\frac{P_2}{\rho g}$ з точністю до 1 мм;
- 2) висоту піднімання рівня води у мірному баці;
- 3) час піднімання рівня води на висоту h_6 ;

Порядок розрахунків

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

- 1) виміряні втрати напору по довжині;
- 2) об'єм води у мірному баці

$$W = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h_6}{4}, \text{ см}$$

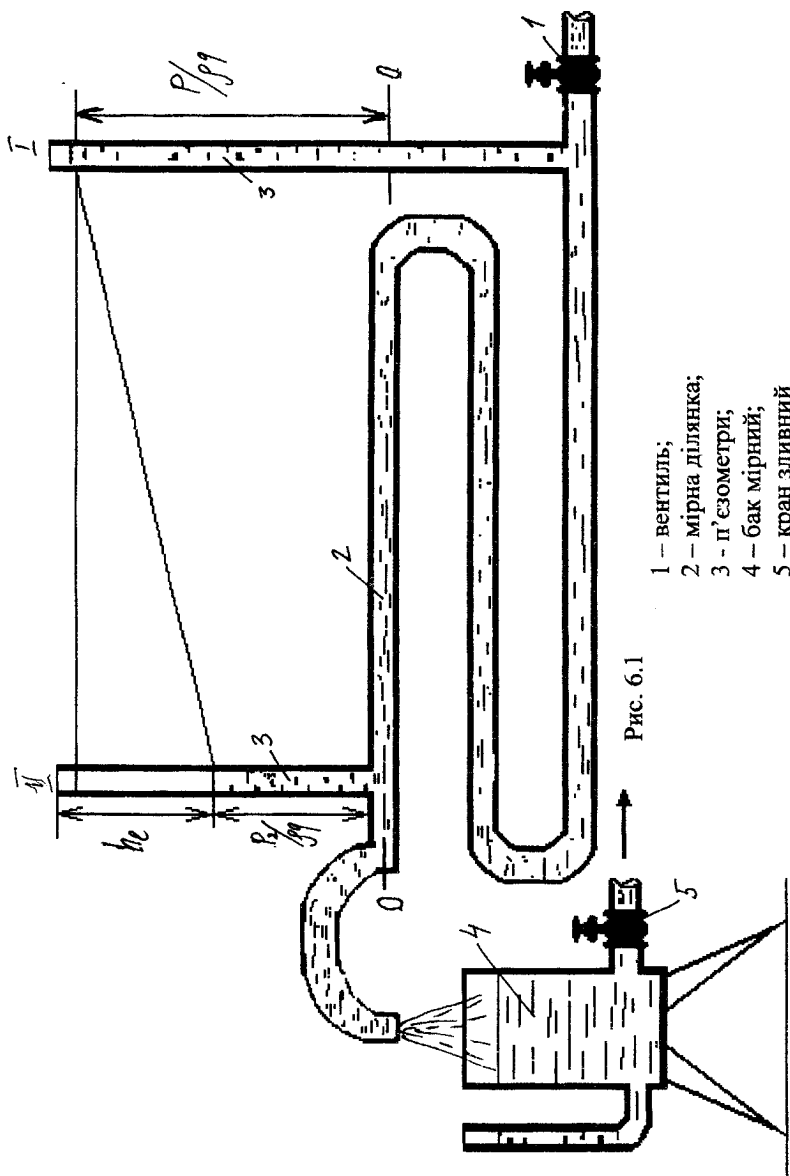
- 3) витрату води

$$Q = \frac{W}{t}, \text{ см}^3/\text{с}$$

- 4) середню швидкість потоку з точністю до 1 см/с

$$V = \frac{Q}{w}, \text{ см/с}$$

- 5) експериментальне значення коефіцієнта гідравлічного тертя за перетвореною формулою (6.1) з точністю до 0,001



- 1 – вентиль;
- 2 – мірна ділянка;
- 3 – п'єзометри;
- 4 – бак мірний;
- 5 – кран зливний

Рис. 6.1

$$h_f = \frac{2qhd}{lv^2}$$

- 6) число Рейнольдса за формулою (6.3) з точністю 1000.
Коефіцієнт кінематичної в'язкості води можна прийняти рівним 0,01 см²/с;
- 7) гідравлічний нахил $I = \frac{h}{l}$
- 8) розрахункове значення коефіцієнта гідравлічного тертя за формулою Альтшуля (6.2) з точністю до 0,001;
- 9) коефіцієнт розходження між експериментальним та розрахунковим значенням коефіцієнта гідравлічного тертя з точністю до 0,1 %.

Таблиця 6.1

Таблиця результатів

Найменування	Позначення	Розмірність	Досліди	
			1	2
1	2	3	4	5
Діаметр труби	d	см		
Площа поперечного перерізу	w	см ²		
Довжина ділянки трубопроводу	l	см		
Еквівалентна шершавість	k_e	мм		
Покази 1-го п'езометра	$\frac{P_1}{\rho g}$	мм		
Покази 2-го п'езометра	$\frac{P_2}{\rho g}$	мм		
Вимірні втрати напору	h_n	мм		
Діаметр мірного бака	D	мм		
Висота піднімання рівня води у баці	h_b	мм		
Час піднімання рівня води у баці	t	с		
Об'єм води у баці	W	см ³		
Витрата води	Q	см ³ /с		

1	2	3	4	5
Середня швидкість	V	см/с		
Число Рейнольдса	Re	—		
Гідравлічний нахил	I	—		
Коефіцієнт гідравлічного тертя експериментальний	λ_t	—		
Коефіцієнт гідравлічного тертя розрахунковий	λ_p	—		
Коефіцієнт розходження	δ	%		

Лабораторна робота №7

Тема: “Умови плавучості та остійності тіл в рідині”

Мета роботи:

Визначити теоретично і перевірити практично дослідним шляхом умови плавання різноманітних тіл: водотоннажність, осадку, остійність.

Порядок виконання роботи:

Для проведення роботи необхідно мати декілька зразків тіл простої геометричної форми (куб, паралелепіпед, циліндр) із різною питомою вагою, меншою, ніж питома вага рідини, терези для зважування зразків та резервуар з рідиною.

Для прикладу розглянемо умови плавання дерев'яного однорідного кубика у воді. Виміряємо довжину ребра кубика (см) та розрахуємо його об'єм a^3 (см³). Визначимо вагу кубика G (г або Н) і розрахуємо питому вагу $\gamma = \frac{G}{a^3}$. Вага витісненої води повинна бути рівною вазі кубика, тобто $W \cdot \gamma_e = G$, де γ_e - питома вага води. Звідси отримаємо об'єм водотоннажності $W = \frac{G}{\gamma_e}$.

Уявімо, що кубик буде плавати у вертикальному положенні, тоді об'єм водотоннажності буде дорівнювати добутку площі поперечного перерізу кубика на величину осадки поперечного перерізу, тобто $W = h_{oc} \cdot a^2$.

Звідси $h_{oc} = \frac{W}{a^2}$.

Для визначення остійності виконують розрахунки y_c , y_o , $\delta = (y_c - y_o)$.

Для кубика ці відстані будуть: $y_c = \frac{a}{2}$, $y_o = \frac{h_{oc}}{2}$, $\delta = \left(\frac{a}{2} - \frac{h_{oc}}{2} \right)$.

Площиною плавання кубика при плаванні його у вертикальному положенні буде квадрат, момент інерції якого відносно осі плавання (повздовжньої або поперечної) буде $I = \frac{a^4}{12}$.

Потім розрахуємо метацентричний радіус $\rho = \frac{I}{W}$ і метацентричну висоту $m = \rho - \delta$.

Якщо $\rho > \delta$, тобто $m > 0$, то кубик остійний і повинен плавати у вертикальному положенні.

Опустимо кубик у воду і перевіримо його остійність. Накренимо кубик і подивимось, чи повернувся він у вертикальне положення. Виміряємо його осадку. Порівняємо дослідні дані з даними, що отримані теоретично.

Загальні відомості

На тіло, що занурене повністю або частково в рідину, діє вертикальна спрямована вгору сила, яка дорівнює вазі рідини, витісненої об'ємом зануреної частини тіла. Ця сила, що називається Архімедовою, направлена вгору і прикладена в центрі ваги маси рідини в об'ємі зануреної частини тіла (в центрі водотоннажності). При рівновазі тіла, яке занурене у рідину, вага тіла і вага витісненої рідини будуть однакові. При частковому зануренні тіла плавання буде надводним. При повному зануренні тіла плавання буде підводним.

Тіло буде остійне при надводному плаванні, тобто буде повертатися у початкове (переважно у вертикальне) положення із крену, якщо його метацентричний радіус ρ буде більшим, ніж відстань δ , або якщо його метацентрична висота m буде величиною додатною. Ці величини проілюстровані на рис. 7.1 і визначаються за формулами :

$$\rho = \frac{I_x}{W}; \delta = y_c - y_o; m = \rho - \delta.$$

В наведених рівняннях вказані такі позначення:

- I_x - момент інерції площини плавання тіла відносно повздовжньої осі цієї площини;
- W - водотоннажність (об'єм рідини, витісненої тілом);
- y_c - відстань від найнижчої точки тіла, що плаває, або від прийнятої площини відліку до його центра ваги;
- y_o - відстань від найнижчої точки тіла, що плаває, або прийнятої площини відліку до його центра водотоннажності (для паралелепіпеда, що плаває вертикально, y_o буде дорівнювати половині осадки).

Площину, обмежену ватерлінією – лінією перетину поверхні рідини з тілом, що плаває, називають площиною ватерлінії або площиною плавання.

Осадка – глибина h_{oc} - занурення найнижчої точки тіла, що плаває, під рівень води

Контрольні запитання до лабораторної роботи №7

1. Що називається площиною плавання?
2. Що називається водотоннажністю?
3. Що називається остійністю?
4. Що називається осадкою?
5. За яких умов тіло буде остійним?

Таблиця результатів

Показники	Одиниця вимірювання	Зразки			
Матеріал зразка					
Розміри зразка:					
довжина l	M				
ширина b	M				
висота h	M				
об'єм V	M^3				
Вага зразка G	KF				
Питома вага γ	M/N^3				
Водотоннажність W	M^3				
Осадка h_{oc}	M				
Відстань до центра тяжіння y_c	M				
Відстань до центра водотоннажності y_o	M				
$\delta = y_c - y_o$					
Момент інерції площини плавання I_x	M^4				
Метацентричний радіус $\rho = \frac{I_x}{W}$	M				
Метацентрична висота $m = \rho - \delta$	M				
Умови остійності:					
- за даними розрахунків					
- із досліду					

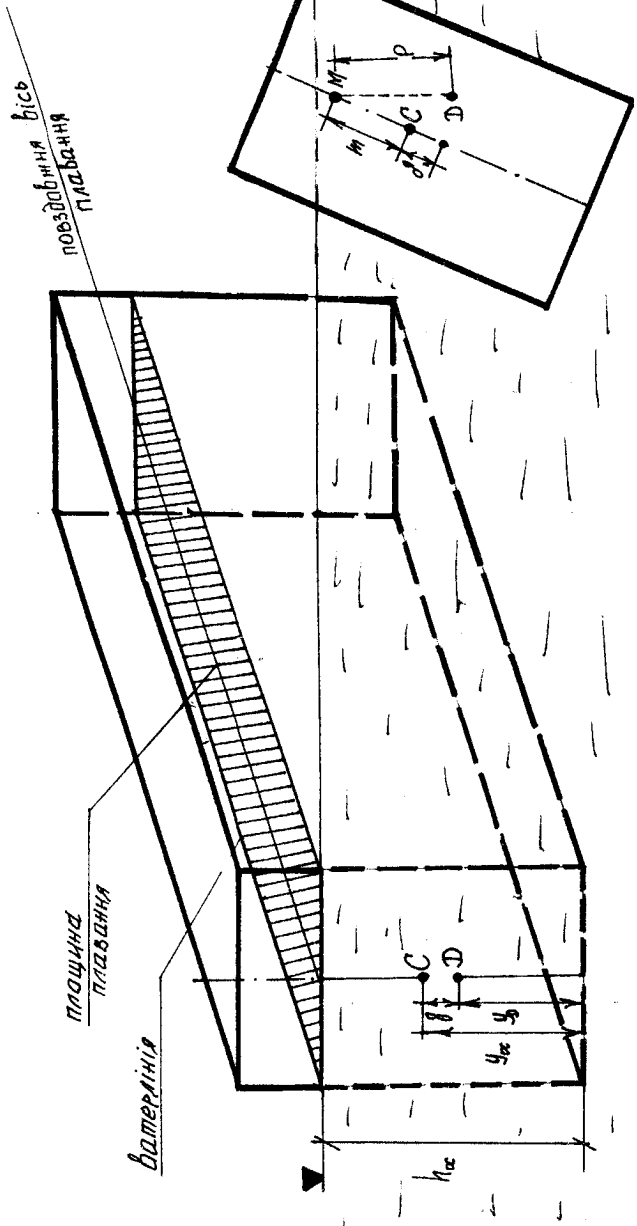


Рис. 7.1

Лабораторна робота №8

Тема: “Вимірювання густини і коефіцієнтів поверхневого натягу”

Мета роботи:

Методом гідростатичного тиску при різних температурах рідини визначити:

- густину рідини ;
- коефіцієнт поверхневого натягу.

Порядок виконання роботи:

Підготувати звіт, який повинен містити таблицю 8.1 та основні розрахункові формули (8.1), (8.2), (8.3) (15хвилин).

Провести вимірювання на лабораторному обладнанні, розрахувати необхідні параметри та занести їх у таблицю.

Перевірити правильність одержаних результатів та підписати їх у викладача (10 хвилин).

Захистити роботу (20 хвилин).

Схема дослідної установки та методика вимірювань:

Дослідна установка (рис.8.1) складається з посудини 1 з досліджуваною рідиною. Температура рідини вимірюється термометром 6. У посудині 1 розташована трубка 2 діаметром d . З лінії повітря 8 через триходовий кран 3 в трубку 2 надходить повітря, тиск якого вимірюється рідинним манометром 4. У манометр 4 залита рідина з відомою густиною ρ_d .

Надлишковий тиск повітря в трубці 2 дорівнює сумі гідростатичного тиску стовпчика досліджуваної рідини і тиску, який зумовлений силами поверхневого натягу рідини у середині бульбашки, що виходить з трубки, тобто

$$\rho_e gh = \rho_p gH + \frac{2\delta}{r} \quad (8.1)$$

де ρ_p - густина рідини у посудині;

δ - коефіцієнт поверхневого натягу;

r - радіус бульбашки, який можна прийняти рівним радіусу трубки.

Другий доданок в (8.1) не залежить від глибини занурення трубки 2. Тому, щоб виключити невідому δ в (8.1), треба зробити два вимірювання при зануренні трубки на різні глибини (H_1 і H_2), яким будуть відповідати і два значення тиску (показання манометра h_1 і h_2). Тоді шукана густина рідини у посудині 1 визначається за формулою:

$$\rho_p = \rho_e (h_1 - h_2) / (H_1 - H_2) \quad (8.2)$$

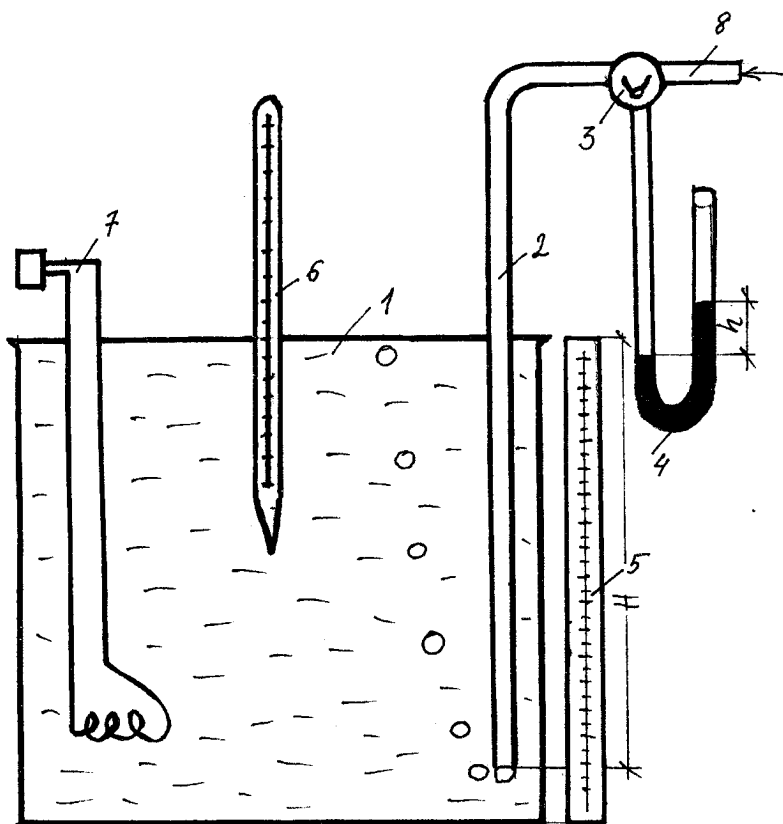


Рис. 8.1

Після того, як визначена густина ρ_p , можна скористатися даними одного з вимірювань (наприклад, першого) для визначення з (8.1) значення коефіцієнта поверхневого натягу

$$\delta = 0,5 \cdot r \cdot g(\rho_s \cdot h_1 - \rho_p \cdot H_1) \quad (8.3)$$

Досліди виконують у такій послідовності. Вимірюють температуру рідини у посудині 1. Занурюють трубку 2 на певну глибину H_1 і фіксують її положення. Повільно відкривають краник 3 і роблять так, щоб з трубки 2 виходили окремі бульбашки. Після цього записують показання манометра h_1 . Таким же чином проводять вимірювання і при другому фіксованому положенні трубки 2 у посудині. Далі вмикають електронагрівник 7 і підвищують температуру рідини на $5 \dots 10^\circ\text{C}$, після цього нагрівник вимикають і проводять вимірювання при іншій температурі. Результати вимірювань записують до таблиці результатів.

Таблиця 8.1

Таблиця результатів

Дослід	Температура рідини	Глибина занурення трубки, м		Показання манометра, м	
		H_1	H_2	h_1	h_2
1					
2					
3					
4					
5					

За даними розрахунків будують графіки залежностей $\rho_p = f(t)$, $\delta = f_1(t)$, описують їх аналітично і роблять висновки.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №8

1. Що називають густиною і як вона залежить від температури ?
2. Що розуміють під силами поверхневого натягу (лапласовими) ?
3. Який фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу ?
4. Що називають основним рівнянням гідростатики і який вигляд воно має ?
5. Що розуміють під надлишковим тиском ?

Лабораторна робота №9

Тема : “Контроль пружинних манометрів”

Мета роботи:

1. Ознайомлення з основними одиницями і приладами для вимірювання тиску в різних гідравлічних системах.
2. Ознайомлення з правилами перевірки робочого манометра.
3. Вироблення навичок побудови і користування кривою поправок.

Металеві манометри поряд з позитивними якостями мають істотні вади. З часом у їх робочих органах (трубках, мембранах) виникають залишкові деформації. Водночас із цим спрацьовується передаточний механізм, внаслідок чого з'являються похибки у їх показах. Тому в процесі експлуатації манометри потрібно періодично перевіряти. Таку перевірку роблять на масляному переносному пресі порівнянням показів робочого манометра з показами контрольного, вивіреного в лабораторії. Шкала контрольного манометра проградуєвана в градусах і має по довжині кола 360 поділок.

Опис обладнання:

Масляний переносний прес (рис.9.1), складається з наповненого маслом циліндра 3, в якому переміщується поршень 2. Прес має ручний гвинтовий привод 1 і триходовий кран 4 для включення і відключення манометра.

Хід виконання роботи при перевірці пружинного (металевого трубчастого) манометра

1. На пресі встановлюють два манометри: робочий і контрольний.
2. За допомогою поршня манометр навантажують, послідовно встановлюючи покази робочого манометра на цілі числа одиниць тиску (0,1,2 і т.д. до максимального тиску на шкалі) і відповідно до цих показів знімають покази з контрольного манометра. Покази контрольного манометра не виражатимуться цілими числами, якщо робочий манометр має похибку.
3. Покази обох манометрів заносять до таблиці.
4. Манометри розвантажують, повторюючи всі вимірювання у зворотному порядку. Ідуть від максимального тиску на шкалі робочого манометра до 0, записуючи відповідно покази контрольного манометра. Перевантажувати манометри вище від максимального тиску на їх шкалах не можна, бо в їхніх органах (трубках, мембранах) у такому разі виникають

залишкові деформації.

5. Підраховують середні покази контрольного манометра, а потім визначають похибки робочого манометра на кожній поділіці:

$$\Delta p = p_p - p_{н.с.},$$

де p_p - покази робочого манометра;

$p_{н.с.}$ - середні за навантаженням і розвантаженням покази контрольного манометра.

На шкалі кожного робочого манометра в кружечку зазначено клас точності приладу в процентах — К. Залежно від класу точності обчислюють допустиму похибку

$$\Delta_{\max} = \frac{KN}{100},$$

де N — максимальні покази шкали робочого манометра.

6. Порівнюючи похибки Δp , на кожній поділіці шкали з допустимою похибкою Δ_{\max} , роблять висновок, що коли хоча б на одній поділіці шкали похибка більша від допустимої, манометр до подальшої роботи не придатний. Якщо ж Δp не перевищує допустимої похибки, то манометр ще може працювати, треба тільки користуватись кривою поправок, яку будують за результатами випробувань робочого манометра.

Поправки до показів робочого манометра визначають як різницю тисків контрольного і робочого манометрів $p_k - p_p = -\Delta p$. Отже, поправка - це похибка з протилежним знаком.

Для побудови кривої поправок по осі абсцис у відповідному масштабі відкладають покази робочого манометра, а по осі ординат в іншому масштабі - поправки і за добутими точками будують криву. За допомогою кривої поправок можна знайти поправку до будь-яких показів p_p робочого манометра, причому знак поправки (плюс або мінус) показує, що її треба додавати або віднімати від показів робочого манометра p_p .

Отже, за допомогою робочого манометра і побудованої до нього кривої поправок можна виміряти тиск з точністю, що наближається до точності контрольного манометра.

Контрольні запитання до лабораторної роботи №9

1. Що розуміють під тиском, який виникає в рідині або газі?
2. Що розуміють під абсолютним тиском, надлишковим або вакуумом?

3. Що є площиною порівняння при відліку надлишкового тиску і вакууму?
4. Назвіть одиниці тиску.
5. Як перевіряють робочий металевий манометр?
6. Що таке клас точності приладу і як визначити допустиму похибку?
7. Як користуватися кривою поправок?

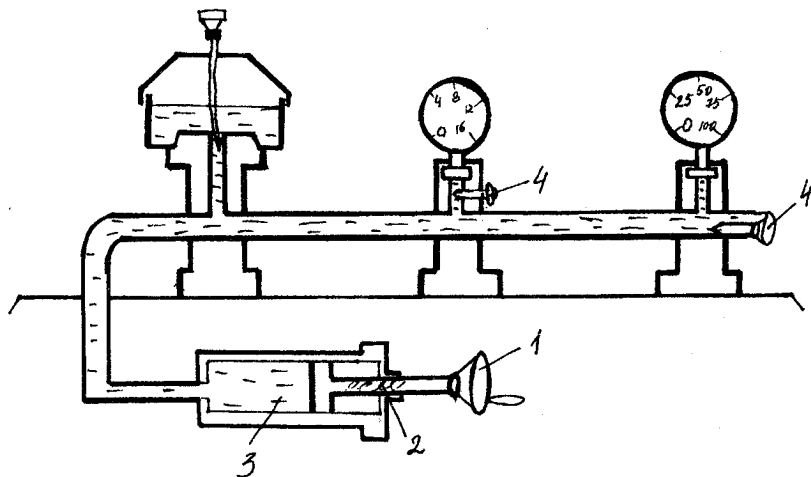


Рис. 9.1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

Тема: “Прилади для вимірювання тиску рідин та газів”

Мета роботи:

1. Ознайомлення з основними одиницями та приладами для вимірювання тиску рідин та газів.
2. Вироблення 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.

Порядок виконання роботи:

Засвоїти матеріал поданий в розділах: “Загальні відомості”, “Опис обладнання”, “Порядок вимірювань” (25 хвилин).

Провести вимірювання на лабораторному обладнанні.

Перевірити правильність одержаних результатів та підписати їх у викладача (10 хвилин).

Захистити роботу (20 хвилин).

Загальні відомості:

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

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

За характером вимірювання величини:

- 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. 10.1) 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’езометр.

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 з 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 (див. рис. 10.2). Якщо рідина в резервуарах має однакову густину, то різницю тисків у двох точках ($p_1 - p_2$), розташованих на однакових висотах, визначають за формулою

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

де ρ_p - густина робочої рідини.

Для більшої точності при вимірюванні малих тисків застосовують чашкові мікроманометри (рис. 10.3) з похилою трубкою і накладною шкалою. Показанням такого приладу є величина p , яка вимірюється зміщенням рідини в трубці: $p = \rho_p \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha$. Точність приладу зростає при зменшенні кута α .

Завдяки простоті будови, високій точності вимірювань, стабільності показів рідинні прилади широко застосовують у лабораторній практиці. Основною вадою 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. На рис. 10.4 показано схему пружинного манометра. Принцип його дії такий. Із місця вимірювання тиску в зігнутому латунну трубку 1 з запаяним кінцем через відкритий кінець її надходить рідина. Під дією тиску рідини трубка-пружина частково розпрямляється (в манометрі) або більше згинається (в вакууметрі). Через зубчасту передачу 2 зміна положення кінця трубки передається стрілці приладу 4, яка показує на градуйованій шкалі 3 величину тиску.

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

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

Абсолютна похибка Δ - це різниця між показами манометра і істинним (дійсним) значенням і виражається в одиницях виміру тиску (див. табл. 209[2]). Абсолютна похибка характеризує відхилення як в бік збільшення, так і в бік зменшення показів у порівнянні з істинним

значенням: $\Delta = \pm \alpha$,

де α - постійна величина.

Відносна похибка визначається за формулою

$$\delta = \pm 100 \Delta / x$$

приведена похибка визначається за формулою

$$\gamma = \pm 100 \Delta / x_n$$

де x - дійсне (вимірне) значення величини;

x_n - нормувальне значення.

Нормувальне значення :

- для манометрів і вакууметрів встановлюється рівним кінцевому значенню робочої частини шкали, для мановакууметрів;

- сумі кінцевих значень манометричної та вакууметричної 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 оцінюються точність вимірювань, будуть тим менші, чим менші кінцеві значення шкали манометра. Так, наприклад, при вимірюванні тиску 4 МПа (40 кг/см²) манометром класу точності 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 з кінцевим значенням шкали 4 МПа (40 кг/см²).

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

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

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 робочих манометрів визначають за ГОСТ 15614-80, зразкових - за ГОСТ 8.161 - 85. При визначенні основної похибки температура t_1 навколишнього повітря повинна бути

(20 ± 2)° С - для приладів класу точності 0,4 і 0,6; (20 ± 3) °С - для приладів класу точності 1 ; (20 ± 5)° С - для приладів класу точності 1,5 ; 2,5 і 4.

Потрібне обладнання

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

Хід виконання роботи

1. Перед початком роботи ознайомлюються з будовою приладів для визначення тиску у замкнених об'ємах рідин та газів.
2. За допомогою наданих викладачем приладів визначають тиск у рідинних та газових середовищах.
4. Використовуючи вищенаведені формули визначають значення абсолютних, відносних та приведених похибок.

Контрольні запитання до виконання лабораторної роботи №10

1. Наведіть визначення рідини та газу?
2. Дайте визначення поняття гідростатика.
3. Які сили діють на рідину у стані спокою?
4. Що таке гідростатичний тиск і його основні властивості?
5. В яких одиницях вимірюється тиск?
6. Які способи і прилади вимірювання тиску у рідині Вам відомі?
7. Які принципи дії покладені в основу роботи приладів для вимірювання тиску?
8. Охарактеризуйте рідинні прилади для вимірювання тиску.
9. Охарактеризуйте відомі Вам види металевих манометрів.
10. Що таке абсолютна, відносна та приведена похибки манометрів? Які формули застосовуються для їх розрахунків?
11. Як залежать похибки при вимірюванні тиску манометрами від температури навколишнього повітря?
12. Що таке клас точності манометра? Наведіть приклади.
13. Наведіть приклади позначок (маркувань) манометрів і розшифруйте їх.

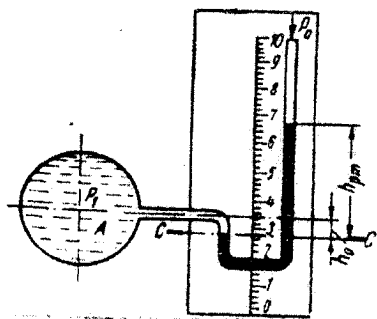


Рис. 10.1
Схема рідинного манометра

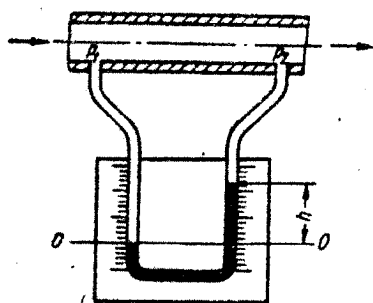


Рис. 10.2
Схема диференціального манометра

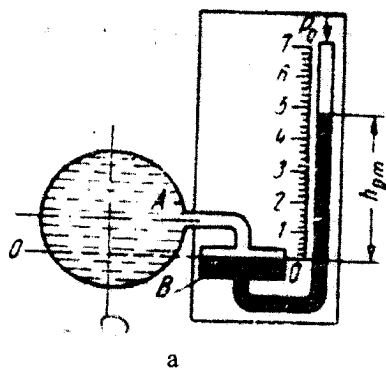
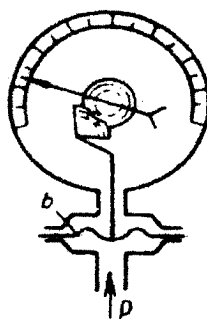
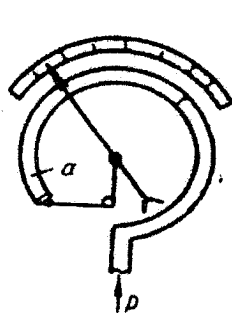
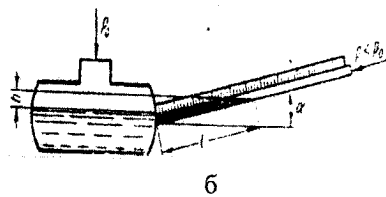


Рис. 10.3 а) Ртутно – чашковий манометр

б) Манометр з нахиленою трубкою



10.4 Пружинний та мембранний манометри

Література:

1. Бурдун Г.Д., Базакуца В. А. Единицы физических величин. -Харьков: Вища школа, 1984. - 207 с.
2. Элементы гидропривода. (Справочник). Абрамов Е.Й., Колесниченко К.А., Маслов В.Т.-Киев: Техніка, 1977. - 320 с.
3. Альтшуль А.Д., Кисилев П.Г. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости). Учебное пособие для вузов.-М.: Стройиздат. 1975. - 323 с.
4. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка. Загальний курс.-Львів: Світ. 1994. - 264 с.
5. Калицун В.Й., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. – М.: Стройиздат. 1980.-247 с.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Євген Федорович Лісіцин
Наталія Михайлівна Слободян**

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ
З ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ РІДИН ТА
ГАЗІВ**

Навчальний посібник

Вінниця ВДТУ 2000

Редактор В.О. Дружиніна

Тир. 35 прим. Зам № 2000-0033

ВДТУ, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95