

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чернігівський національний технологічний університет
Кафедра зварювального виробництва та автоматизованого проектування
будівельних конструкцій

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

**Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»**

Затверджено на засіданні
кафедри зварювального виробництва
та АПБК
Протокол №11 від 25.05.2019 р.

Чернігів ЧНТУ 2019

Технічна механіка рідини і газу. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» /Укл. Болотов Г.П., Ганєєв Т.Р., Болотов М.Г.– Чернігів, ЧНТУ, 2019. – 22 с.

Укладачі: Болотов Геннадій Павлович, доктор технічних наук, професор кафедри зварювального виробництва та АПБК
Ганєєв Тимур Рашитович, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та АПБК
Болотов Максим Геннадійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та АПБК

Відповідальний за випуск: Прибитько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри зварювального виробництва та АПБК

Рецензент: Ющенко Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та АПБК Чернігівського національного технологічного університету

ВСТУП

Методичні вказівки з описом лабораторних робіт з нормативної дисципліни «Технічна механіка рідини і газу» складені для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Методичні вказівки складені таким чином, щоб студент, приступаючи до виконання роботи, мав можливість повторити теоретичний матеріал з відповідних розділів лекційного курсу, ознайомитися із змістом лабораторної роботи, з методикою проведення досліджень та аналізу отриманих результатів.

В описі кожної лабораторної роботи наведені мета, завдання, основні теоретичні відомості та закони гідроаеростатики та гідроаеродинаміки, необхідні для виконання роботи, принципові схеми випробувань, необхідні вихідні дані.

Ретельний опис кожної лабораторної роботи надає можливість студенту самостійно виконати необхідні дослідження.

За результатом виконання лабораторних робіт студент зможе самостійно вирішувати наступні практичні задачі:

1. Здійснити монтаж схеми випробувань найпростішого гідравлічного обладнання.
2. Виміряти основні характеристики гідравлічних кіл.
3. Здійснити аналіз отриманих результатів і зробити висновки.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Експериментальне визначення в'язкості рідини

1.1 Мета роботи: ознайомлення із способами і методикою визначення кінематичного коефіцієнта в'язкості рідини.

1.2 Прилади та матеріали

Віскозиметр Енглера.

Дистильована вода.

Мінеральне мастило або гліцерин.

1.3 Інформація для самостійної підготовки

Рідиною зветься робоче тіло, що володіє значною текучістю і не має власної форми, а приймає форму посудини, у якій знаходиться. До основних фізичних характеристик рідин відносять густину, здатність до стискання та в'язкість.

Густина визначається відношенням маси рідини m до її об'єму

$$\rho = m/V$$

Здатність до стискання – властивість рідини зменшувати об'єм під дією зовнішнього тиску. Звичайно рідини вважають такими, що практично не володіють такою здатністю.

В'язкість – властивість рідини здійснювати опір відносному ковзанню її шарів, що викликає внутрішнє тертя у в'язких рідинах. В'язкість оцінюється динамічним коефіцієнтом в'язкості μ , який вимірюється у паскаль-секундах (Па·с) і чисельно дорівнює дотичному напруженню між суміжними шарами рідини, якщо їх швидкість неоднакова.

На практиці найбільш часто користуються не динамічним коефіцієнтом в'язкості μ , а відношенням його до густини рідини

$$\nu = \mu/\rho,$$

яке зветься кінематичним коефіцієнтом в'язкості і вимірюється у м²/с (у системі СІ), або у стоксах (см²/с).

Коефіцієнти в'язкості залежать від температури, причому для рідин із підвищенням температури вони зменшуються, а для газів – зростають.

Для вимірювання в'язкості рідини застосовують спеціальні прилади – віскозиметри. Існує декілька систем віскозиметрів.

Віскозиметр Стокса (поз. 4 на рис. 1.1,а) дозволяє визначати в'язкість рідини по швидкості падіння у ній кульки. Прилад має циліндричну порожнину із центруючими каналами та кульку. Центруючі канали забезпечують падіння кульки по осі порожнини. Порожнина приладу заповнена водно-гліцериновим розчином.

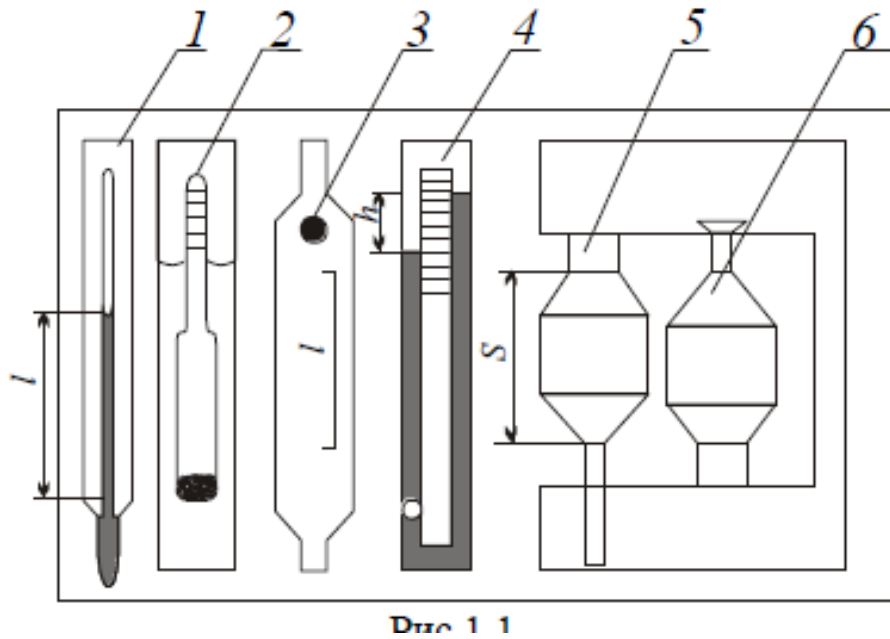


Рис. 1.1. Основні типи віскозиметрів

Віскозиметр Оствальда (поз. 1 на рис. 1.1,б) містить незначну ємність із капіляром. В'язкість визначається по часу витікання рідини з ємності через капіляр.

Найбільше поширення отримали віскозиметри системи Енглера (рис. 1.2), які застосовують для визначення в'язкості рідин, в'язкість яких перевищує в'язкість води. Він складається з металевого (латунного) циліндра 1, що має сферичне дно із припаяною до нього латунною трубкою, отвір якої перед початком випробувань закривається стержнем 2. Циліндр розташовується у водяній ванні 3 із регульованим підігрівом води.

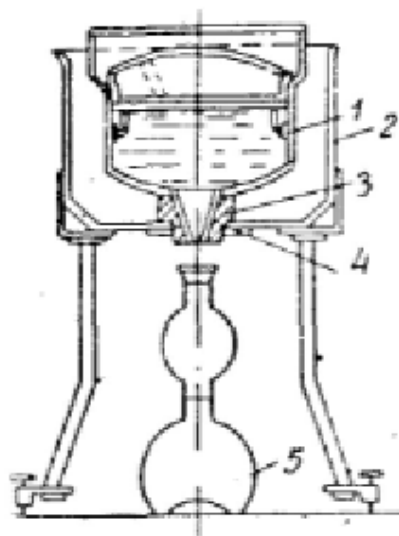


Рис. 1.2. Схема віскозиметра Енглера

Дослідження проводять у два етапи. Спочатку у циліндр 1 наливають 200 см³ рідини, в'язкість якої необхідно визначити. За допомогою водяної ванни, температура якої підтримується постійною, забезпечують нагрівання рідини до заданої температури (температури водяної ванни), після чого відкривають отвір трубки і визначають час t_1 витікання рідини з циліндру 1. Далі дослід повторюють із дистильованою водою. Відношення часу t_1 до t_2 зветься градусом Енглера

$$^{\circ}\text{E} = t_1/t_2$$

Тобто, градусом Енглера зветься час витікання певної кількості досліджуваної рідини (зазвичай 200 см³) до часу витікання такого ж об'єму дистильованої води при температурі 20°C. Для переходу від в'язкості рідини, визначеної у градусах Енглера, до кінематичного коефіцієнта в'язкості застосовують емпіричну формулу

$$\nu = (0,0731 \text{ } ^{\circ}\text{E} - 0,0631/^{\circ}\text{E}), \text{ см}^2/\text{с}$$

1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1. Налити у віскозиметр 200 см³ досліджуваної рідини.

1.4.2. За допомогою газового пальника або електричного нагрівача здійснити нагрівання водяної ванни до температури 20°C.

1.4.3. Забезпечити нагрівання досліджуваної рідини до температури 20°C.

1.4.4. Вийняти стержень і зафіксувати час витікання рідини.

1.4.5. Повторити досліди із дистильованою водою.

1.4.6. Визначити градуси Енглера.

1.4.7. Визначити кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини.

1.4.8. Порівняти отриманий результат із табличними даними (таблиця 1)

Таблиця 1

Кінематичні коефіцієнти в'язкості деяких рідин

Найменування рідини	t, °C	ν , м ² /с
Вода	20	$1,01 \cdot 10^{-6}$
Бензин	18	$0,65 \cdot 10^{-6}$
Гас	18	$2,5 \cdot 10^{-6}$
Змащувальне мастило	20	$1,72 \cdot 10^{-4}$
Гліцерин	20	$8,7 \cdot 10^{-4}$

1.5 Зміст звіту

- 1.5.1 Найменування роботи та її мета.
- 1.5.2 Схема проведення дослідів.
- 1.5.3 Вхідні дані для проведення дослідів.
- 1.5.4 Результати вимірювань.
- 1.5.5 Результати розрахункового визначення в'язкості.

1.6 Питання для самоперевірки

- 1.6.1 Що характеризує в'язкість рідини.
- 1.6.2 Фізична сутність динамічного коефіцієнта в'язкості.
- 1.6.3 Зв'язок між динамічним та кінематичним коефіцієнтом в'язкості.
- 1.6.4 Основні способи визначення в'язкості рідини.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Вимірювання тиску рідин і газів

2.1 Мета роботи: ознайомлення з основними засобами вимірювання тиску рідин і газів та надбання практичних навичок їх застосування.

2.2 Прилади та матеріали:

Ємність із рідиною.

Компресор.

Вакуумний насос.

П'єзометр.

Ртутний вакууметр.

Механічні манометр та вакууметр.

2.3 Інформація для самостійної підготовки

Розрізняють наступні види тиску: барометричний, абсолютний, манометричний та вакууметричний.

Барометричний (атмосферний) тиск p_b залежить від висоти місця над рівнем моря та від стану погоди. За нормальний барометричний тиск приймають тиск 760 мм рт. ст, що відповідає 101325 н/м^2 .

Тиск, визначений за основним рівнянням гідростатики, зветься абсолютним

$$p_a = p_0 + \rho gh$$

де p_0 – абсолютний тиск на вільній поверхні рідини;

ρ – питома вага рідини;

h – глибина занурення точки під вільною поверхнею.

Якщо тиск на вільну поверхню дорівнює атмосферному $p_0 = p_b$, то основне рівняння гідростатики прийме вигляд

$$p_a = p_b + \rho gh$$

Якщо атмосферний тиск перевищує абсолютний у контрольній точці $p_a > p_b$, то різниця між ними зветься манометричним тиском

$$p_m = p_a - p_b = \rho gh$$

Якщо у будь-якій точці об'єму абсолютний тиск менше барометричного $p_a < p_b$, то різницю між ними звать вакууметричним тиском

$$p_v = p_b - p_a$$

Атмосферний, манометричний та вакууметричний тиск вимірюють приладами, що зветься, відповідно, барометрами, манометрами та

вакууметрами. За принципом дії і типом робочого елемента прилади поділяють на рідинні, механічні та електричні.

Історично першим був застосований ртутний барометр Торічеллі (рис. 2.1,а), дія якого заснована на принципі врівноваження вимірюваного тиску p (тиску на вільну поверхню ртуті у ємності) силою тяжіння стовпа рідини висотою h у трубці, тобто $p = \rho gh$.

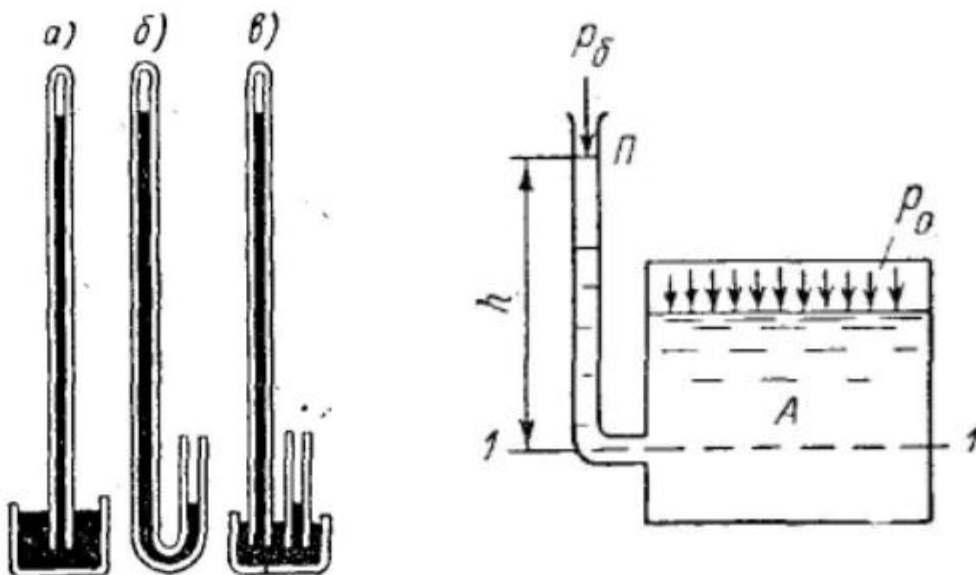


Рис. 2.1. Схеми рідинного барометра (а) та рідинного манометра (б)

При вимірюванні манометричного тиску у посудинах із рідиною застосують рідинний манометр у вигляді скляної трубки (рис. 2.1,б). Такий рідинний манометр звать п'езометром. При вимірюванні тиску на певному рівні (наприклад, рівні I-I) необхідно на цьому рівні зробити отвір і приєднати до нього п'езометр, то рідина у п'езометрі під дією тиску підніметься на деяку висоту h (рис. 2.1,б).

При вимірюванні тиску газів рідинний манометр представляє собою U-подібну трубку (рис.2.2), наповнену до деякого рівня рідиною (ртуттю, спиртом, водою). Один з кінців трубки з'єднується із посудиною, що містить газ, другий кінець сполучається із атмосферою. Різниця рівнів рідини у колінах трубки визначає манометричний тиск $p = \rho gh$.

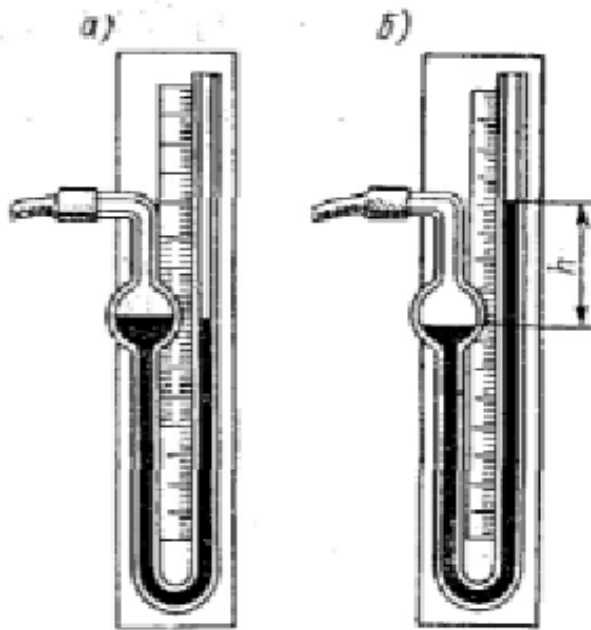


Рис. 2.2. Рідинний манометр для вимірювання тиску газу

У механічних приладах вимірюваний тиск викликає деформацію чутливого пружного елемента, яка за допомогою спеціальних механізмів перетворюється і передається на стрілку покажчика. За видом пружного елемента механічні барометри, манометри та вакууметри поділяють на мембранні та трубчасті. Чутливим елементом мембранних приладів є гофрована металева мембрана (рис. 2.3,а). При вимірюванні тиску більш високого, ніж барометричний, тобто манометричного тиску, мембрана вигинається і через систему важелів пересуває стрілку на шкалі. При вимірюванні вакууметричного тиску мембрана і стрілка переміщуються, відповідно, у протилежному напрямку. У трубчастих приладах порожниста плоска металева трубка (трубка Бурдона) при вимірюванні манометричного тиску розгинається (рис. 2.3,б), зміщуючи стрілку, а при вимірюванні вакууметричного тиску навпаки, згинається.

Рідинні вакууметри за конструкцією і принципом роботи аналогічні рідинним манометрам, однак, відрізняються тим, що вільний кінець трубки герметично запаяний і при опусканні рівня рідини у ньому утворюється вакуум, з яким і порівнюється тиск газу у посудині.

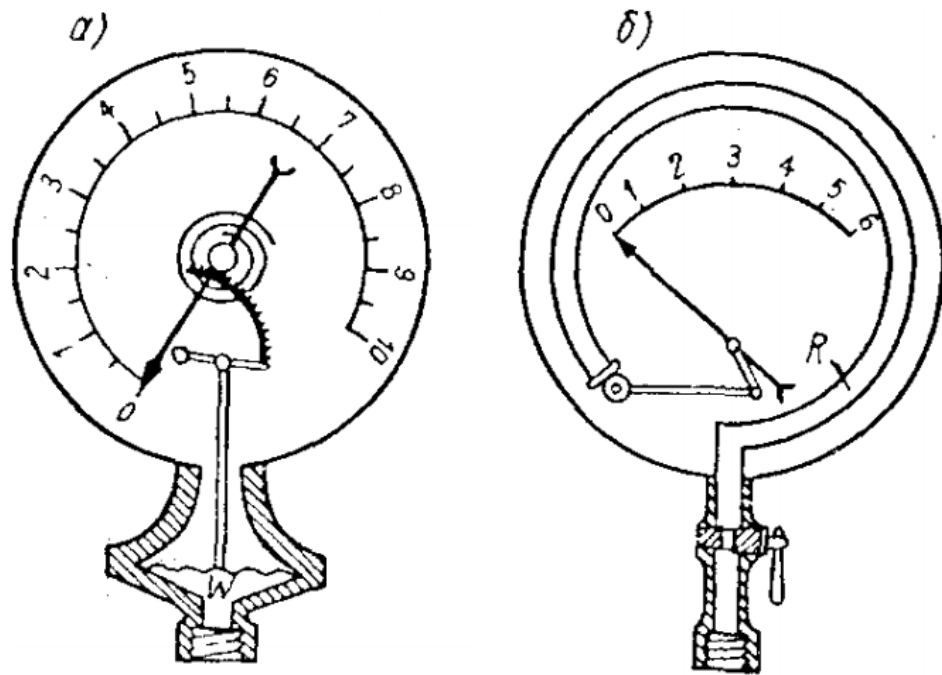


Рис. 2.3. Схеми мембранного (а) та трубчастого (б) механічних манометрів

2.4. Порядок виконання роботи

2.4.1 Заповнити контрольну ємність рідиною до контрольної риски.

2.4.2 Приєднати герметично п'єзометр по чергово до нижнього та верхнього відводів з ємності.

2.4.3 Виміряти рівень рідини у п'єзометрі в обох випадках.

2.4.4 Визначити, застосовуючи відповідну математичну залежність, тиск рідини на обох рівнях та різницю тисків між ними.

2.5. Структура звіту

2.5.1 Найменування роботи та її мета.

2.5.2 Схема проведення дослідів.

2.5.3 Результати вимірювань.

2.5.4 Результати розрахункового визначення гідростатичного тиску.

2.6 Питання для самоперевірки

2.6.1 Основні види тиску.

2.6.2 Що характеризує барометричний тиск і від чого він залежить.

2.6.3 Як визначається манометричний тиск.

2.6.4 Визначення тиску рідинними манометрами.

2.6.5 Будова і принцип роботи механічних манометрів.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Побудова п'єзометричної та напорної ліній для потоку рідини

3.1 Мета роботи: на підставі дослідних даних та рівняння Бернуллі побудувати п'єзометричну та напорну лінії для трубопроводу змінного перерізу.

3.2 Прилади та матеріали:

Випробувальний стенд.

Мірна ємність.

Контрольна рідина.

Годинник

3.3 Інформація для самостійної підготовки

У рухомій рідині кожна її частинка володіє певним запасом потенціальної та кінетичної енергії. Енергію, віднесену до одиниці ваги рідини, звуть питомою. Розрізняють питому енергію положення частинки рідини z , яка визначається геометричною висотою від площини порівняння до елементарної струминки; питому енергію тиску $p/\rho g$, де p – гідростатичний тиск у даній точці, а ρ – густина рідини; питому кінетичну енергію $v^2/2g$, де v – швидкість потоку на осі труби.

Основний закон гідродинаміки (рівняння Бернуллі) встановлює зв'язок між значеннями питомої енергії у двох живих перерізах потоку, що плавно змінюється, відносно площини порівняння $x-x$ (рис. 3.1). На шляху від перерізу 1-1 до перерізу 2-2 частина енергії витрачається на подолання опорів на тертя рідини об стінки каналу. Тоді на підставі закону зберігання енергії можна записати рівняння балансу енергії рідини для перерізів 1-1 та 2-2 у вигляді

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

Всі члени цього рівняння мають розмірність довжини, тому кожний його член має геометричний та енергетичний зміст. У сумі питомі енергії положення та тиску визначають питому потенціальну енергію, або п'єзометричний напір, а питома кінетична енергія характеризує швидкісний напір. Додаток питомих потенціальної та кінетичної енергій складає повну питому енергію, або

гідродинамічний напір. Величина h_{1-2} визначає втрати енергії, або втрати напору.

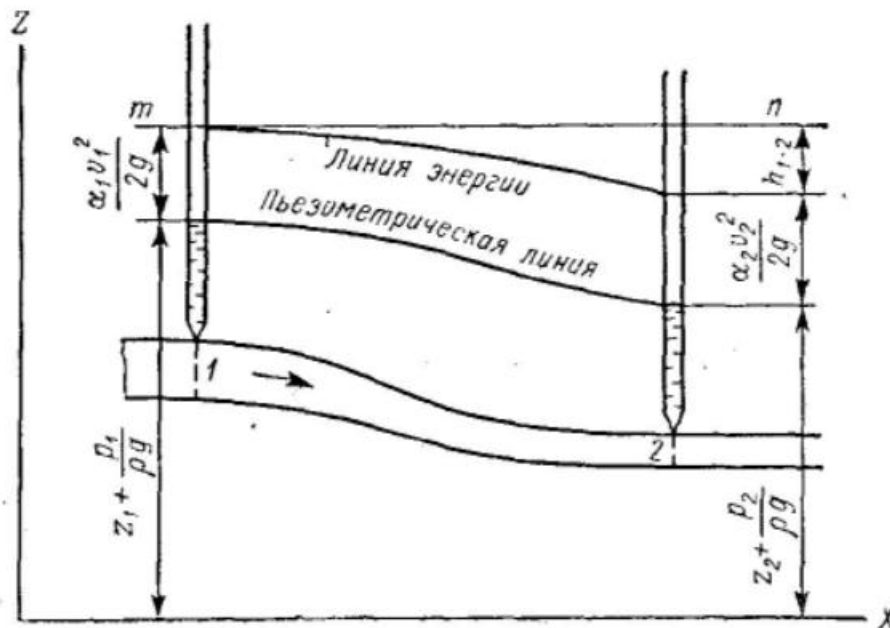


Рис. 3.1. Графічне представлення рівняння Бернуллі

Оскільки члени рівняння Бернуллі мають розмірність довжини, його можна зобразити графічно (рис. 3.1), відкладаючи уверх від лінії порівняння $x-x$ для всіх живих перерізів питомі потенціальну та кінетичну енергії. Лінія, що характеризує закон розподілу по довжині потоку питомої потенціальної енергії або п'єзометричного напору, зветься п'єзометричною лінією.

Лінія, що характеризує закон розподілу по довжині потоку повної питомої енергії або гідродинамічного напору, зветься лінією енергії або напорною лінією.

3.4 Опис експериментального обладнання

Робоча ділянка гідростенду для даної лабораторної роботи представляє собою (рис. 3.2) трубу змінного перерізу. Для вимірювання статичного та повного тиску рідини у перерізах 1-1 та 2-2 встановлені п'єзометричні трубки та трубки Піто. За відсутності трубок Піто середню швидкість потоку у цих перерізах можна визначити по витраті рідини за певний час Q і заданому внутрішньому діаметру d трубопроводу як

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}, \text{ м/с}$$

Регулювання витрати рідини здійснюють вентилем на вході трубопроводу.

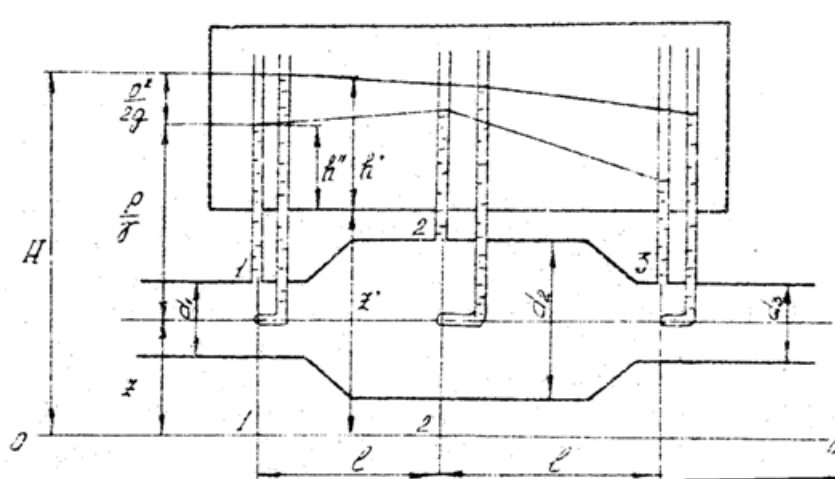


Рис. 3.2. Схема експериментальної установки

3.5 Порядок виконання роботи

3.5.1 Відкрити вентиль на вході трубопроводу і встановити задану витрату рідини.

3.5.2 Виміряти рівні рідини у п'єзометрах.

3.5.3 По витраті рідини або показанням трубок Піто визначити швидкість потоку у перерізах 1-1 та 2-2.

3.5.4 Визначити значення питомих енергій і побудувати п'єзометричну лінію і лінію енергії.

3.5.5 Досліди провести для різних витрат рідини.

3.6 Зміст звіту

3.6.1 Найменування роботи та її мета.

3.6.2 Схема експериментальної установки.

3.6.3 Вхідні параметри трубопроводу.

3.6.4 Результати вимірювань та розрахунків.

3.6.5 Графічне зображення рівняння Бернуллі.

3.7 Питання для самоперевірки

3.7.1 Геометрична сутність членів рівняння Бернуллі.

3.7.2 Енергетична сутність членів рівняння Бернуллі.

3.7.3 Що складає питому потенціальну енергію.

3.7.4 Як визначається середня швидкість рідини.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Визначення втрат напору по довжині потоку

4.1 Мета роботи: засвоєння експериментального та розрахункового способів визначення втрат напору по довжині при рівномірному напорному русі рідини

4.2 Прилади та матеріали:

Гідравлічний стенд
Ємність із водою
Термометр

4.3 Інформація для самостійної підготовки

При русі рідини по трубах внаслідок тертя виникають сили гідравлічних опорів, на подолання яких витрачається частина енергії (напору).

Втрати напору по довжині викликані гальмівною дією стінок труби, що призводить до в'язкісного тертя окремих частинок і струминок потоку рідини об стінки та одна об одну вздовж трубопроводу. Такі втрати при рівномірній течії пропорційні довжині потоку і для круглих труб визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя (коефіцієнт Дарсі);
 l, d – відповідно, довжина і внутрішній діаметр труби;
 V – середня швидкість потоку.

Коефіцієнт гідравлічного тертя λ в загальному випадку залежить від числа Рейнольдса $Re = Vd/\nu$ і відносної шорсткості стінок труби Δ/d (де Δ – середня висота виступів шорсткості стінок або абсолютна шорсткість).

При ламінарному режимі (коли $Re < 2300$) коефіцієнт тертя обраховується за формулою Пуазейля

$$\lambda = 64/Re$$

При турбулентному режимі течії розрізняють області гідравлічно гладких та гідравлічно шорстких труб.

Трубу або стінку вважають гідравлічно гладкою, якщо виконується умова

$$2300 < Re < 10 \cdot d/\Delta$$

В цьому випадку ламінарний шар турбулентного потоку, що прилягає до стінки, покриває виступи шорсткості і у потоці не виникає додаткових вихорів від шорсткості. Тому в області гідравлічно гладких труб, як і в ламінарному режимі, λ залежить тільки від числа Рейнольдса і визначається за емпіричною формулою

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,8 \lg \frac{Vd}{\nu} - 1,5$$

Із збільшенням числа Рейнольдса, наприклад, за рахунок підвищення швидкості течії, товщина ламінарного підшару турбулентного потоку зменшується і при

$$Re > 10 \cdot d/\Delta$$

виступи шорсткості оголюються і починають вносити додаткові збурення (вихори) у турбулентне ядро потоку, що призводить до зростання втрат напору. В цьому випадку труба (стінка) зветься гідравлічно шорсткою. Для таких труб коефіцієнт тертя обраховується за емпіричною формулою

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,8 \lg \frac{d}{\Delta} + 1,65$$

Формула вказує на збільшення коефіцієнта тертя λ із зростанням відносної шорсткості Δ/d стінок. При достатньо значних числах Рейнольдса, коли практично відсутній ламінарний підшар, коефіцієнт λ не залежить від Re .

Звідси, для обчислення втрат напору по довжині необхідно попередньо визначити область опору (область ламінарного руху, область гладких або область шорстких стінок турбулентного руху), а далі визначити коефіцієнт тертя за відповідними для цих областей формулами. Втрати напору у трубах некруглого перерізу можна визначати за формулами для круглих труб, підставляючи у них замість геометричного діаметру гідравлічний діаметр

$$D_2 = 4\omega/\chi$$

де ω – площа живого перерізу;

χ – змочений периметр.

У загальному випадку втрати напору в ході дослідів визначаються різницею повних напорів на кінцях досліджуваної ділянки потоку. Однак при рівномірному русі кінетичний напір не змінюється на шляху, і тому втрати

напору дорівнюють різниці тільки п'єзометричних напорів, тобто знаходяться як різниця показань п'єзометрів, встановлених на кінцях досліджуваної ділянки труби.

4.4 Порядок виконання роботи

4.4.1 Заповнити ємність 1 водою (рис. 4.1).

4.4.2 Відкрити вентиль 2 на вході трубопроводу.

4.4.3 Зняти показання п'єзометрів 3, виміряти відстань між ними і час вимірювання рівня води у ємності 4 на довільну величину..

4.4.6

4.4.4 На папері із міліметровою сіткою зобразити у масштабі канал трубопроводу із п'єзометрами і побудувати по показанням п'єзометрів п'єзометричну лінію.

4.4.5 По показаннях крайніх п'єзометрів визначити дослідне значення втрат h_d

4.4.6 Знайти число Рейнольдса для досліджуваного режиму течії і розрахункове значення втрат напору h_d .

4.4.7 Знайти відносну розбіжність дослідного і розрахункового значень втрат напору. Пояснити цю розбіжність.

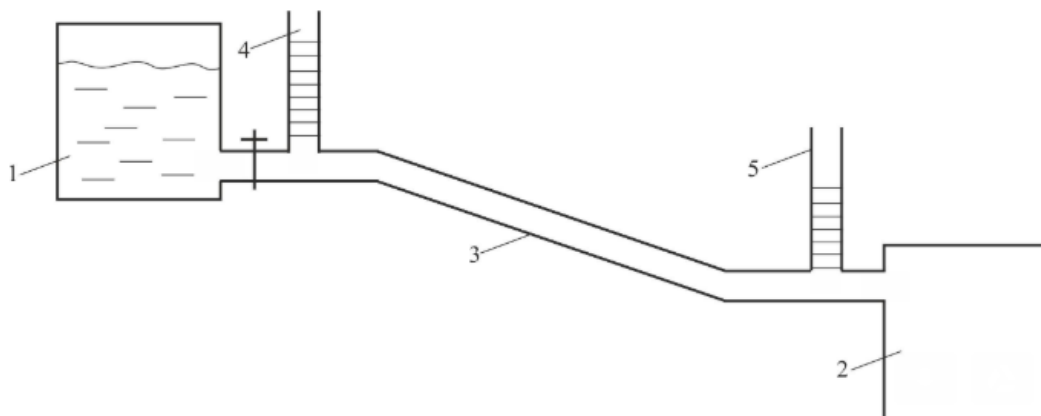


Рис. 4.1. Схема експериментальної установки

4.5. Зміст звіту

4.5.1 Найменування роботи і її мета.

4.5.2 Схема та описання експериментальної установки.

4.5.3 Вхідні дані: діаметр та довжина трубопроводу, відстань між крайніми п'езометрами.

4.5.4 Результати вимірювань та розрахунків.

4.5.5 Графічне зображення отриманих результатів.

4.6 Питання для самоперевірки

4.6.1 Що призводить до втрат напору по довжині трубопроводу.

4.6.2 За якою формулою визначаються втрати напору по довжині.

4.6.3 Від чого залежить вибір формули для визначення коефіцієнта тертя.

4.6.4 За якою ознакою розрізняють гідравлічні характеристики труб.

Перелік рекомендованих джерел

1. Сальников В.С. Механика жидкости и газа. –М.: Машиностроение, 2002. - 199 с.
 2. Теплов А.В., Виханский Л.Н., Чарей В.Е. Основы гидравлики. –М.: Машиностроение, 1969. -223 с.
 3. Чугаев Р.Р. Гидравлика. –М.: Машиностроение, 1982.
 4. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. –М: Машиностроение, 1984.
- .

Зміст

Вступ.....	3
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. Експериментальне визначення в'язкості рідини	4
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. Вимірювання тиску рідин і газів	8
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. Побудова п'єзометричної та напорної ліній для потоку рідини	12
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4. Визначення втрат напору по довжині потоку	15
Перелік рекомендованих джерел	19