

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

ГІДРАВЛІКА І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Затверджено на засіданні
кафедри ремонту та експлуатації машин
Протокол № 16 від 23.03.2023р.

Кропивницький, 2023

Гідравліка і сільськогосподарське водопостачання : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання за спеціальності 208 Агроінженерія / [уклад. :Т. В. Руденко, Ю. В.. Кулешков] : Мін-во освіти та науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. Експлуатації та ремонту машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 35 с.

Укладачі: *Руденко Т.В., Кулешков Ю.В.*

Рецензент: *Красота М.В.*

©*Т.В. Руденко, Ю.В. Кулешков*

© ЦНТУ. м. Кропивницький, пр. Університетський, 8. 2023р.

1.ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Гідравліка, як технічна наука, займається вивченням законів рівноваги, руху та взаємодії рідин із твердими тілами, що перебувають у стані спокою або руху.

Мета лабораторних робіт допомога студентам закріпити знання теоретичного матеріалу, одержані на лекціях та при самостійній роботі; показати на практиці справедливості положень і висновків, які отримали, під час вивчення курсу "Гідравліка та сільськогосподарське водопостачання", а також набуття практичних навичок роботи з приладами й гідрометричним знаряддям, що зустрічаються в інженерній практиці. Багато з тих явищ, що розглядаються на лекціях або вивчаються самостійно, стають повністю зрозумілими лише після безпосереднього спостереження в лабораторіях під час проведення дослідів і обробки їх результатів.

Складність і різноманітність факторів, що обумовлюють рух рідин і газів, у більшості випадків не дозволяють одержати чіткого теоретичного рішення для різних видів течії. З'являється необхідність введення поправочних коефіцієнтів, які визначаються дослідним шляхом. Тому поряд із засвоєнням теоретичних основ гідравліки необхідне володіння методикою постановки гідравлічних експериментів. Проведення дослідів також сприяє розвитку навичок обробки й викладення отриманих експериментальних даних.

Методичні вказівки містять опис і методику проведення лабораторних робіт, а також коротке викладення теоретичних основ пізнання законів рівноваги та руху рідин.

Приступаючи до виконання лабораторних робіт, необхідно знати основні положення рівноваги й руху рідин, схеми навчальних лабораторних установок; приладів, які використовуються в дослідях; мету й порядок проведення дослідів; методику обробки одержаних результатів.

Кожна лабораторна робота оформляється відповідним чином, із необхідними розрахунками й графіками, захищається перед викладачем.

Лабораторні роботи подані й описані кожна окремо без посилання на попередні, у деяких випадках порядок їх виконання може відрізнятися від викладеного в методичних вказівках.

Лабораторні роботи складені стосовно навчальних стендів, які мають у розпорядженні кафедри. Кожна лабораторна робота складається з мети, короткого опису об'єкта дослідження та методики проведення експерименту.

2. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1. Домашня підготовка до лабораторних робіт.

2.1.1. Використовуючи дані методичні вказівки, самостійно ознайомитися зі змістом лабораторної роботи. Необхідно засвоїти мету роботи і теоретичне обґрунтування можливості проведення експерименту, що потрібно для виконання лабораторної роботи і розуміння суттєвості експерименту.

2.1.2. Користуючись конспектом та підручником, вивчити теоретичні питання, які мають відношення до лабораторного заняття,

2.1.3. Вивчити схему лабораторної установки, зосередивши увагу на вимірювальних приладах і правилах їх використання.

2.1.4. Підготувати бланк лабораторного звіту, в якому необхідно записати

назву, мету і короткий зміст роботи, намалювати схему лабораторної установки, підготувати таблицю для запису протоколу лабораторного експерименту.

2.2 Виконання роботи в лабораторії.

Правила виконання лабораторної роботи:

2.2.1. Приступаючи до лабораторної роботи, всією бригадою обговорити мету та зміст експерименту.

2.2.2. Розподілити обов'язки по виконанню експерименту. При цьому необхідно виділити кого-небудь із студентів тільки для запису результатів досліджень. Всі члени бригади повинні, по можливості, працювати безпосередньо з приладами.

2.2.3 Незалежно від розподілу обов'язків між членами бригади, експеримент слід виконувати колективно, дії кожного студента повинні контролювати інші члени бригади. Результати досліджень кожен студент повинен заносити у свій протокол.

2.2.4. Обробляти результати експерименту необхідно до закінчення лабораторного заняття, так як не виключено, що при обробці результатів експерименту виявиться помилковість деяких досліджень, які прийдеться повторювати.

2.2.5. Завершуючи роботу, слід колективно обміркувати результати проведення експерименту і розрахункові та експериментальні матеріали подати викладачеві. Тільки після цього робота вважається закінченою.

2.2.6. По закінченні роботи належить вимкнути всі джерела енергоживлення.

2.3. Оформлення звіту.

2.3.1. Після завершення роботи в звіт додатково заносять результати обробки експериментальних даних.

2.3.2. Звіт завершується письмовим викладом висновків; що містять аналіз результатів експерименту, відповідність теоретичним і довідковим даним. У випадку великих розходжень зазначити їх причини.

2.3.3. Якщо результати експерименту потрібно подати графічно, то графіки необхідно виконувати на міліметровій. На графіках обов'язково наносять всі експериментальні або розрахункові значення. На вісях повинні бути зображені досліджувані величини та відповідні їм одиниці.

2.3.4. На лабораторних заняттях студент повинен при собі мати:

- методичні вказівки до лабораторних робіт;
- конспект лекцій ;
- протокол лабораторної роботи; калькулятор;
- олівці, лінійку та міліметровку(при необхідності).

2.4. Захист лабораторної роботи.

Заключний етап роботи - *захист*. Для цього необхідно подати звіт, показати знання теорії, методики проведення експерименту та аналізу його результатів. При підготовці до захисту лабораторної роботи рекомендується використовувати матеріал, викладений у [5]. Знання студентів контролюється письмовим або усним опитуванням.

3. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виконання правил безпеки необхідно при роботі студентів у лабораторії гідравліки. Недотримання правил безпеки може призвести до нещасних випадків, псування машин, та приладів.

До виконання лабораторних робіт студенти допускаються лише після інструктажу з техніки безпеки, що проводиться викладачем, який веде заняття, або завідуючим лабораторією з відповідним записом в спеціальному журналі та підписами кожного студента. Інструкція з техніки безпеки до кожної роботи знаходиться на загальному стенді інструктивних документів у лабораторії. Журнал інструктажу зберігається у завідуючого лабораторією.

Лабораторія гідравліки обладнана експериментальними установками з використанням скла і скляними приладами, які потребують акуратного поводження для уникнення порізів. Мокра підлога в приміщенні лабораторії, покрита кахлями, може бути причиною падіння й отримання травм.

Приступати до виконання лабораторних робіт без інструктажу з техніки безпеки, а також при незнанні експериментальної установки й порядку проведення дослідів не дозволяється.

Щоб уникнути ураження електричним струмом, струменем рідини під тиском, необхідно виконувати наступні вимоги:

- не торкатися до неізольованих дротів, з'єднувальних затискачів та інших частин електричних ланцюгів, які знаходяться під струмом;
- не вмикати стенди і обладнання, які не належать до виконуваної роботи;
- не вмикати вимикачі електричних двигунів без дозволу викладача або лаборанта;
- бути обережним при роботі з агрегатами, що обертаються, особливо при вимірюванні швидкості їх обертання;
- щоб уникнути нещасних випадків, одяг повинен щільно прилягати до тіла;
- при роботі з гідравлічними системами, які знаходяться під тиском, належить пам'ятати, що не виключена можливість прориву рідини під тиском, в зв'язку з чим при експерименті необхідно знаходитись за огорожуючим кожухом;
- не торкатись частин електричних та гідравлічних машин, котрі рухаються;
- якщо станеться нещасний випадок, електричну і гідравлічну установки треба вимкнути, а потерпілому надати допомогу;
- негайно повідомити викладачу (лаборанту) про помічене зіпсоване обладнання і порушення правил безпеки.

4. ПОХИБКА ВИМІРЮВАНЬ

Точність експерименту завжди залежить від точності вимірювальних приладів і від положення очей спостерігача. Відлік, як правило належить робити при направленні зору перпендикулярно до приладу. Завдання вимірювань – визначити значення фізичних величин. Точно розв'язати задачу неможливо із-за наявності похибки вимірювань. Вважається, що чим більше проведено експериментів, тим точніше результати дослідів. Самим ненадійним вважається однократне вимірювання, яке може визвати випадкову похибку, на основі якої

експериментатор може зробити помилковий висновок. У теорії похибок застосовуються такі поняття:

4.1. Абсолютна похибка вимірювання.

$$\Delta = A - X, \quad (1)$$

де A – показання приладу; X – справжнє значення вимірюваної величини.

Значення Δ може бути як додатнім так і від'ємним.

Так, клас точності вимірюваних приладів означає найбільш допустиму похибку від граничного значення шкали, %:

$$K = \Delta_{\max} \cdot 100/N. \quad (2)$$

Для вимірювання в умовах лабораторії застосовують технічні та зразкові прилади. Клас точності вказано на шкалі приладу.

Згідно формули (2), можна обчислити похибку показання даного приладу

$$\pm \Delta_{\max} = KN/100.$$

Наприклад: манометр з $K = 6$ з граничним значенням шкали $N = 2,5 \text{ МПа}$ має максимальну абсолютну похибку:

$$\pm \Delta_{\max} = 6 \cdot 2,5/100 = 0,15 \text{ МПа}.$$

Отже, якщо експериментатор одержав значення на вказаному приладі $A = 1,0$ МПа, враховуючи формулу (1), справжнє значення буде знаходитись у межах:

$$1,0 - \Delta_{\max} < x < 1,0 + \Delta_{\max};$$

$$1,0 - 0,15 < x < 1,0 + 0,15;$$

$$0,85 \text{ МПа} < x < 1,15 \text{ МПа}.$$

4.2. Середньоарифметичне вимірювання.

$$A = (A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n)/n \quad (3)$$

де A_1, A_2, A_3, A_n – показання приладу; n – число вимірювань.

Формула (3) одержана із припущення, що поява однакових додатніх та від'ємних похибок рівно ймовірна. У більшості випадків формула дає задовільні результати.

4.3. Середньоквадратична похибка вимірювання.

$$\sigma_x = \pm \sqrt{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2)^{n-1}}, \quad (4)$$

де: $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_n = A_{\text{сер}} - A_1, \dots, A_{\text{сер}} - A_n$;

n – число вимірювань.

Отже, за допомогою формули (3), (4) може бути визначена область існування справжнього значення з достатньою точністю:

$$A_{\text{сер}} - \sigma_x < x < A_{\text{сер}} + \sigma_x.$$

Визначивши $\Delta_{\max}$, $A_{\text{сер}}$, σ_x , за допомогою багаторазових вимірювань, можливо зменшити вплив випадкових похибок на кінцевий результат та знайти область існування найбільш ймовірного існування справжнього значення вимірюваної величини.

$$A_{\text{сер}} - \Delta_{\max} < x_1 < A_{\text{сер}} + \Delta_{\max}. \quad (5)$$

$$A_{\text{сер}} - \sigma_x < x_2 < A_{\text{сер}} + \sigma_x. \quad (6)$$

У кожній лабораторній роботі необхідно знайти область існування справжнього значення вимірюваного параметру, використовуючи формули (5), (6).

5. СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ І ПОЗНАЧЕННЯ

У гідравліці, як і в інших прикладних науках, використовуються одиниці Міжнародної системи (СІ). Основні й похідні величини, позначення й одиниці СІ наведені в табл.1.

Таблиця 1

Величина	Позначення величини	Найменування одиниць	Позначення одиниць
<u>Основні величини</u>			
Довжина	L	метр	м
Маса	m	кілограм	кг
Час	t	секунда	с
<u>Похідні величини</u>			
Площа	S, F	квадратний метр	m^2
Живий переріз	ω	квадратний метр	m^2
Об'єм	W	кубічний метр	m^3
Об'ємна витрата	Q	куб. метр за сек.	m^3/c
Масова витрата	M	кілограм за сек.	кг/с
Вагова витрата	G	Ньютон за сек.	Н/с
Швидкість	u, V	метр за секунду	м/с
Прискорення вільного падіння	g	метр за секунду в квадраті	m/c^2
Густина	ρ	кілограм на кубічний метр	кг/м ³
Кінематична в'язкість	ν	квадратний метр на секунду	m^2/c
Динамічна в'язкість	μ	Паскаль-секунда	Па·с
Сила	P, R, F	Ньютон	Н
Тиск	p	Паскаль (ньютон на кв.метр)	Па; Н/ м ²
Питома енергія	E	Джоуль на кг	Дж/кг
Напір	H	метр	м
Температура	t	градус Цельсія	°С

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ КРАПЛИННИХ РІДИН

Мета роботи.

1. Визначити залежність в'язкості краплинних рідин від температури.
2. Використовуючи графік $v=f(t)$ та табл. 1.1, визначити область використання дослідного масла.

Таблиця 1.1

Найменування гідросистеми	Оптимальне значення v_{50}° , сСт
Гідросистема з швидкодіючими пристроями	<20
Гідросистеми машин у сталих температурних умовах $P=10$ МПа	20...40
Гідросистеми машин у сталих температурних умовах $10 \text{ МПа} < P < 20 \text{ МПа}$	40...60
Гідросистеми пресів $P=50...60$ МПа	110... 150

1.1. Зміст роботи

Робота гідросистеми залежить від в'язкості робочої рідини. Дуже висока в'язкість рідини викликає великий опір її руху, а для цього потрібна велика потужність. Мала в'язкість робочої рідини викликає її внутрішні перетікання, що знижує ККД гідросистеми. Якщо температура робочої рідини зростає, в'язкість її зменшується, тому у теплу пору року використовують більш в'язкі рідини.

В'язкість – це властивість рідини чинити опір відносному зсуву своїх шарів (в'язкість рідин проявляється тільки при русі рідини). Це приводить до перенесення від шару до шару певної кількості руху (імпульсу), в результаті чого повільніші шари прискорюються, а більш швидкі сповільнюються. В рідинах, де відстань між молекулами набагато менша, ніж в газах, в'язкість обумовлена в першу чергу міжмолекулярною взаємодією, яка обмежує рухливість молекул. Таким чином, при відносному переміщенні шарів рідини виникають сили внутрішнього тертя, які направлені по дотичній до поверхні шарів.

Сила тертя між шарами рідини може бути визначена за формулою Ньютона – Петрова:

$$F_T = \pm \mu \cdot S \cdot \frac{du}{dh} \quad (1.1)$$

де $\frac{du}{dh}$ – градієнт швидкості по нормалі до напрямку руху (поперечний), який характеризує інтенсивність зсуву шарів рідини. В усіх системах вимірюється (1/с).

S – площа поверхні контактуючих шарів рідини, або площа внутрішньої поверхні труби.

Площа внутрішньої поверхні:

– для круглої труби: $S = \pi \cdot d \cdot l$;

- для квадратної : $S = 4a \cdot l$;
- для прямокутної : $S = 2(a + b) \cdot l$;
- μ – динамічна в'язкість рідини, Н·с/м².

У гідравлічних розрахунках частіше використовують кінематичний коефіцієнт в'язкості:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.2)$$

де ρ – густина рідини.

Одиниці вимірювання для μ та ν , та їх співвідношення, які використовують на практиці наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Основні одиниці вимірювання коефіцієнтів в'язкості

Коефіцієнт в'язкості	Система одиниць вимірювання коефіцієнтів в'язкості	
	СГС	СІ
динамічний	П (пуаз) → [] сП (сантипуаз) $1 \text{ сП} = 10^{-2} \text{ П}$ $1 \text{ сП} = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$	1 $1 \cdot 10^3 \text{ сП}$
кінематичний	Стокс сСт (сантистокс) → $1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ Ст}$ $1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	1

1.2. Обладнання.

Прилади для вимірювання в'язкості називаються віскозиметрами. При вимірюванні в'язкості використовують два різних принципи:

- по швидкості витікання рідини з малого отвору або з капіляра;
- по швидкості падіння кульки в рідині.

В техніці знайшли широке розповсюдження віскозиметри з витіканням рідини через малий отвір. На рис. 1.1 зображена схема віскозиметра Енглера, який складається з латунного резервуару 2, вміщеного у водяну баню. В дні резервуару є втулка із каліброваним отвором $d=2,8$ мм. Отвір закривається стержнем 4. Рідину, яка досліджується 3 заливають у резервуар 2 до вістря гачків 6, розташованих в середині резервуару, які забезпечують постійний об'єм 200 см³. Вода, яка заповнює простір між резервуарами 1 і 2, підігрівается електронагрівачем 8, а температура дослідної рідини і води контролюється термометрами 5 і 10. У зовнішньому резервуарі на спеціальному кронштейні встановлена мішалка 7 для перемішування води, що допомагає рівномірному нагріву рідини до заданої температури.

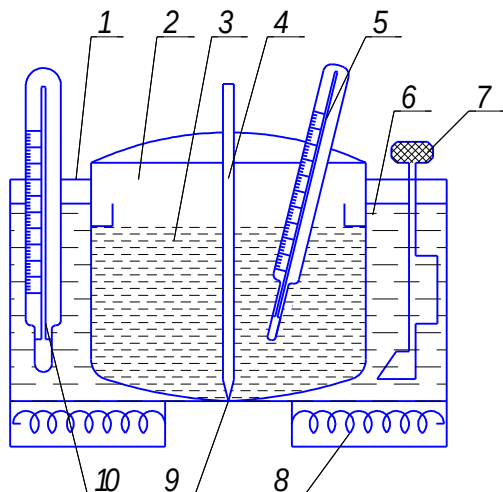


Рис. 1.1. Віскозиметр Енглера

Віскозиметр Енглера дозволяє визначити відносну в'язкість, одиниця якої - градус Енглера ($^{\circ}E$) – визначається як відношення часу витікання 200см^3 дослідної рідини до часу витікання такої ж кількості дистильованої води при температурі 20°C :

$$^{\circ}E = \frac{T_{\text{рід}}}{T_{\text{води}}^{20^{\circ}\text{C}}} \quad (1.3)$$

Приймаємо, що $T_{\text{води}} = 50 \dots 52$ с. Маючи значення в'язкості у градусах Енглера, визначають кінематичну в'язкість за формулою Убеллоде:

$$\nu = (0,0731 \cdot ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}) 10^{-4}, \text{ м}^2/\text{с} \quad (1.4)$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості визначається з формули (1.2).

$$\mu = \nu \cdot \rho$$

1.3. Порядок проведення експерименту.

1.3.1. Заповнити водою зовнішній резервуар,

1.3.2. Зняти кришку та заповнити внутрішній резервуар дослідною рідиною (маслом). Отвір при цьому повинен бути закритий стержнем. Після заповнення надіти через стержень кришку.

1.3.3. Обережно встановити термометри у водяну баню та в отвір у кришці віскозиметру.

1.3.4. Тумблером на панелі увімкнути електронагрівачий прилад.

1.3.5. Регулюючи підігрів по термометру встановити потрібну температуру водяної бані, після чого вимкнути нагрівачий прилад.

1.3.6. Після зрівняння температури на двох термометрах зняти їх показання. Потім обережно висунути стержень і секундоміром заміряти час

витікання 200 см³ рідини, попередньо підставивши під отвір мірну колбу.

1.3.7. Досліди провести при температурах 20...60° С.

1.3.8. Після закінчення експерименту робоче місце прибрати.

1.4. Обробка експериментальних даних.

1.4.1. Всі експериментальні дані заносять у таблицю 1.3. Інші невідомі значення визначають за формулами (1.2-1.4).

1.4.2. За даними цієї таблиці будують графіки залежності кінематичної ν та динамічної μ в'язкості від температури.

1.4.3. З графіку $\nu=f(t)$ визначають кінематичну в'язкість при температурі $t=50^{\circ}\text{C}$, а з таблиці 1.1 знаходять область використання дослідного масла.

1.4.4. Всі результати обробки даних та висновки заносять у звіт.

Таблиця 1.3

№ п/п	t, °C	T _{рід} , c	°E	ν , м ² /с	ρ , кг/м ³	μ , Нс/м ²
1						
2						
3						
4						

Примітка: для визначення густини масла при різних температурах необхідно використовувати формулу:

$$\rho_t = \frac{\rho_{+50^{\circ}\text{C}}}{1 + \beta_t(t - 50^{\circ})} \quad (1.5)$$

де ρ_t – густина масла при температурі t ;

$\rho_{+50^{\circ}}$ - густина масла при температурі $+50^{\circ}\text{C}$;

β_t – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

Для мінеральних масел $\beta_t=0,0007...0,0008$ (град⁻¹)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ГІДРОСТАТИКИ

Мета роботи.

1. Ознайомитись з приладами для вимірювання тиску.
2. Одержати навички практичного використання манометрів
3. Експериментально перевірити основне рівняння гідростатики і передавання тиску у рідині за законом Паскаля.

2.1. Зміст роботи

Тиск поділяють на атмосферний, абсолютний, надлишковий (манометричний), вакуумметричний. Якщо відлік тиску провадити від нуля, то це буде абсолютний тиск. Манометричним, або надлишковим, тиском називають різницю між абсолютним тиском вимірюваного середовища і атмосферним тиском, коли абсолютний тиск більший від атмосферного:

$$P_{\text{м}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм.}} \quad (2.1)$$

Вакуумметричним тиском, або вакуумом, називають різницю між атмосферним тиском і абсолютним тиском вимірюваного середовища, коли абсолютний тиск менший від атмосферного:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}} \quad (2.2)$$

З рівняння (2.2) виходить, що максимально можливий тиск дорівнює атмосферному тиску. Порівнюючи (2.1) і (2.2), дістаємо:

$$P_{\text{вак}} = -P_{\text{м}} \quad (2.3)$$

тобто вакуум можна розглядати як від'ємний манометричний тиск.

На рис. 2.1 можна бачити відносне розташування вищезгаданих тисків.

Лінія тиску більшого від атмосферного ($P > P_{\text{атм}}$)

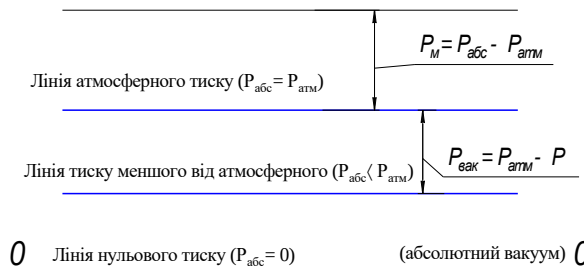


Рис. 2.1 Види тиску

Прилади для вимірювання тиску різноманітні. Вони класифікуються за різними ознаками.

За величинами, що вимірюються, прилади поділяються на такі групи:

1. Прилади для вимірювання атмосферного тиску $P_{\text{атм}}$ - барометри.
2. Прилади для вимірювання різниці абсолютного та атмосферного тисків, тобто надлишкового тиску $P_{\text{м}}$, і розрідження $P_{\text{в}}$. Прилади, що вимірюють надлишковий тиск, називають манометрами, а прилади, що вимірюють розрідження - вакуумметрами. Прилад, за допомогою якого можна вимірювати як надлишковий тиск, так і розрідження, називають мановакуумметрами.
3. Прилади для вимірювання абсолютного тиску $P_{\text{абс}}$ - манометри абсолютного тиску. Манометри абсолютного тиску зазвичай застосовують для вимірювання малих абсолютних тисків.

4. Прилади для виміру різниці тисків - диференційні манометри.

5. Прилади для виміру малого надлишкового тиску і вакууму - мікromanометри та мікровакуумметри.

За принципом дії манометри і вакуумметри поділяються на такі групи:

- рідинні, що вимірюють тиск по висоті стовпа робочої рідини, що врівноважує;
- механічні, що вимірюють тиск за деформацією пружних елементів приладів (пружини або мембрани);
- поршневі, що вимірюють тиск за допомогою навантаженого відомою силою поршня, що переміщається в циліндрі;
- електричні, принцип дії яких заснований на пропорційності між зміною електричного опору провідників і зміною розміру тиску.

Треба зазначити, що рідинні манометри і вакуумметри є найпростішими, але й достатньо точними приладами.

Одним з таких приладів для вимірювання надлишкового тиску є п'єзометр, що являє собою вертикальну скляну трубку, нижній кінець якої з'єднується з об'ємом, у якому вимірюється тиск, а верхній кінець виводиться в атмосферу. Трубка заповнюється рідиною (тиск якої вимірюється) і має певну шкалу. П'єзометри застосовуються для вимірювання тисків величиною не більше 3-4 м вод. ст.. Частіше всього вони використовуються при лабораторних дослідженнях Тиск у точці приєднання п'єзометру

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (2.4)$$

де P_0 – тиск на поверхні рідини; ρ – густина рідини; h – глибина занурення точки.

З рівняння (2.4) виходить **закон Паскаля**, відповідно до якого – всяка зміна тиску в будь якій точці нерухомої рідини передається без змін у кожному точку рідини.

У техніці найбільше поширені пружинні манометри і вакуумметри. Вони володіють низкою переваг: шкала їх зручна для спостереження, вони достатньо прості за конструкцією, надійні в роботі, мають невеликі розміри, широкі межі діапазону значень до 50000 кгс/см² і вакууму до 760 мм рт. ст.

Встановлено такі класи точності приладів для вимірювання тиску:

0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0.

Прилади класів точності 0,5...6,0 використовують як робочі, а 0,005...0,4 – як контрольні (зразкові).

2.2. Одиниці виміру тиску.

У системі СІ за одиницю тиску прийнято 1 Н/м² = 1 Па. Ця одиниця дуже мала, тому частіше використовують 1кПа = 1000Па; 1 МПа = 1000000 Па; 1 бар = 100000 Па.

Так як на практиці використовують інші одиниці тиску, інженеру необхідно знати співвідношення між ними.

1 Па = 1 Н/м² = 10 дин/см² = 0,102 кГ/м² = 7,5 · 10⁻³ мм рт. ст. = 0,102 мм. вод. ст.

Необхідно запам'ятати наступні співвідношення:

1 кГ/см² = 9,81 Н/см² = 98100 Па = 735,6 мм. рт. ст. = 10 м. вод. ст. = 0,98 бар.

2.3. Обладнання.

У лабораторії гідравліки є спеціальний стенд, на якому розташовані різні прилади для вимірювання тиску, а для демонстрації закону Паскаля установка (рис. 2.2), яка містить в собі вертикальний циліндр 1, з пристроєм для подачі води 2 і виміру рівня води 3. По висоті циліндра на трьох рівнях розташовані манометри М₁, М₂, М₃. До кришки циліндра приєднаний трубопровід 4 для подачі стислого повітря і створювання надлишкового тиску на вільній поверхні води. Вентиль 5 дозволяє зменшити тиск на поверхні води.

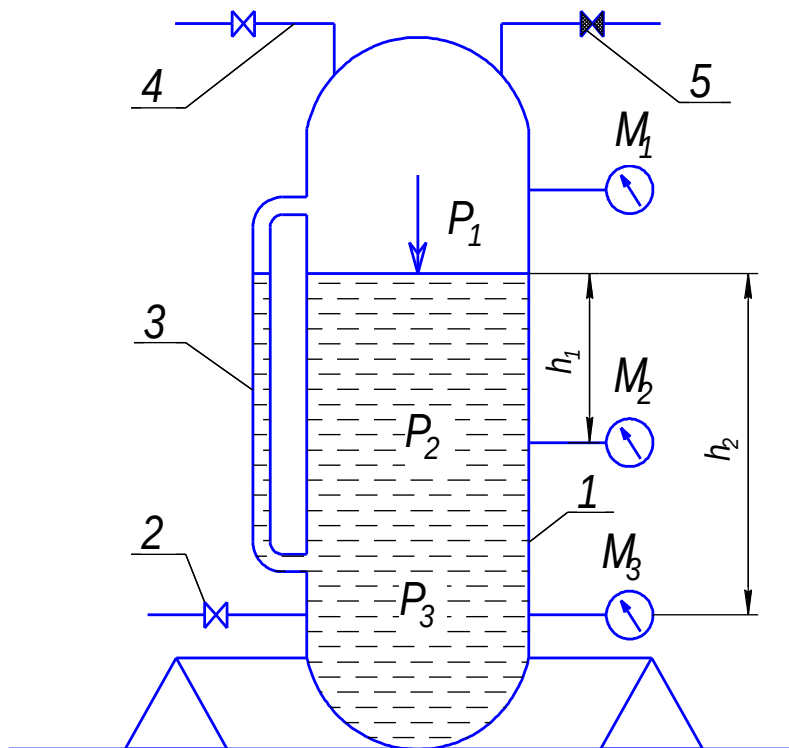


Рис. 2.2 Установка для проверки закона Паскаля

2.4. Порядок проведення експерименту

2.4.1. Ознайомитись з конструктивними особливостями приладів для вимірювання тиску.

2.4.2. Виміряти атмосферний тиск барометром.

2.4.3. Зняти показання вакуумметра, манометра на обладнанні увімкнутим викладачем.

2.4.4. Результати вимірювань занести у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

Вид тиску	Одиниці						
	Па	кПа	МПа	бар	кГ/см ²	м. вод. ст.	мм. рт. ст
$P_{\text{атм}}$							
$P_{\text{м}}$							
$P_{\text{в}}$							
$P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{м}}$							
$P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{в}}$							

2.4.5. Поміряти висоту h_1 і h_2 стовпа води у циліндрі.

2.4.6. Закрити вентиль 2 і включити систему подачі стислого повітря. Коли тиск на поверхні води буде дорівнювати $1,5 \text{ кг/см}^2$, вимкнути систему подачі повітря.

2.4.7. Зняти показання манометрів M_1 , M_2 , M_3 при різних значеннях тиску на вільній поверхні води (чотири досліди).

2.4.8. Результати вимірювання занести у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

№ п/п	Показання манометрів кг/см^2			Розрахункові значення тиску, кг/см^2		Відхилення, %	
	M_1	M_2	M_3	P_2	P_3	δ_2	δ_3
1							
2							
3							
4							

2.5. Обробка експериментальних даних.

2.5.1. Показання барометра, вакуумметра, манометра перевести у одиниці тиску, які наведені у таблиці 2.1

2.5.2. Розрахувати тиск у точках приєднання манометрів M_2 і M_3 за формулами:

$$P_2 = M_1 + \frac{\rho gh}{98100} \quad ; \quad P_3 = M_1 + \frac{\rho gh}{98100} \quad (2.5)$$

2.5.3. Знайти відхилення тиску, виміряного манометрами M_2 і M_3 , від тиску P_2 і P_3 , розрахованих за формулами (2.5).

2.5.5. Побудувати графік залежності тиску від глибини занурення $P=f(h)$ за обчисленими та експериментальними точками.

2.5.6. Написати висновок за метою роботи, результатами розрахунків та побудованому графіку.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ РІДИНИ

Мета роботи. 1.

1. Дослідним шляхом встановити наявність двох режимів течії рідини.
2. Визначити за дослідними даними числа Рейнольдса при ламінарному та турбулентному режимах.

3.1. Зміст роботи

Спостереження показують, що в рідині можливі дві різні форми руху. Найбільш чітко ці форми виявляються при течії рідини у трубах.

На практиці велике значення має вміння правильно визначити режим течії рідини, так як втрата напору залежить від того як рухається рідина. Якщо окремі частинки рідини переміщуються по прямолінійних траєкторіях паралельно до стінок і одна до однієї, то такий рух називають **ламінарним**. При ламінарному режимі втрати енергії пропорційні першому ступеню середньої швидкості.

Якщо швидкість течії в трубі буде велика, то у всьому потоці відбувається процес безперервного перемішування частинок рідини. Такий рух називають **турбулентним**. При турбулентному режимі втрати енергії пропорційні середній швидкості в ступені, що змінюється від 1,75 до 2.

Умови переходу від ламінарного режиму течії рідини до турбулентного і, навпаки, вперше, вивчив англійський дослідник О. Рейнольдс в 1883-1885 рр. Виконавши велику кількість дослідів на установці, схема якої наведена на рис 3.1, він встановив, що цей перехід визначається чотирма величинами: середньою швидкістю V , діаметром труби d , в'язкістю ν і густиною ρ рідини. За допомогою цих чотирьох величин Рейнольдс склав безрозмірне число, яке дістало назву числа Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (3.1)$$

З урахуванням співвідношення між динамічним I кінематичним коефіцієнтами в'язкості вираз (3.1) набере вигляду.

$$Re = \frac{V d}{\nu} \quad (3.2)$$

У своїх дослідженнях Рейнольдс прийшов до висновку, що існує деяке критичне значення числа Re , яке відмежовує ламінарний режим руху від турбулентного. Це число для труб $Re_{кр.п.} = 2320$. При цьому числі турбулентний режим переходить в ламінарний. Якщо спостерігати перехід від ламінарного руху до турбулентного, виявляється, що верхня межа може доходити до $Re_{кр.в.} = 13800$. На практиці використовують нижнє число Re .

Основні ознаки режимів руху рідини можна представити у вигляді таблиці:

Ламінарний рух легше отримати коли:	Турбулентний рух виникає при:
– менша швидкість руху рідини	– великій швидкості руху рідини;
– великих діаметрах труб;	– менший діаметр труби;
– більша в'язкість рідини;	– малій в'язкості рідини;
– великій густині рідини.	– меншій густині рідини.

3.2 Обладнання.

Установка для дослідження режимів течії рідини складається з резервуару 1, скляної трубки 8 діаметром 10 мм з краном 9 для регулювання швидкості течії води. Зливна труба 3, яка встановлюється для підтримання сталого рівня в резервуарі 1. Щоб рух рідини можна було спостерігати візуально, в трубу крізь капілярну трубку 6 додають розчину фарби. Витрата

рідини в трубі 8 вимірюється за допомогою мірного пристрою 10. Температура води вимірюється термометром 7.

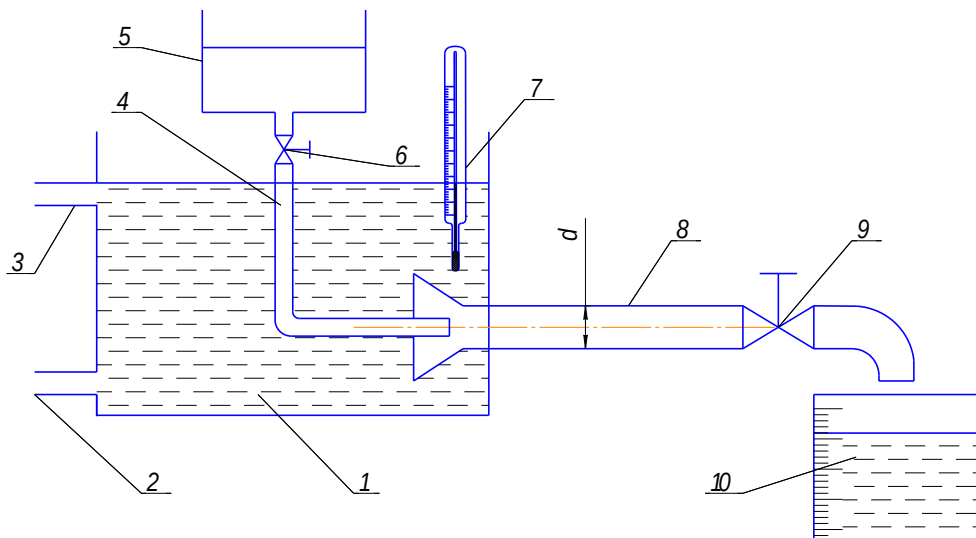


Рис. 3.1 Установка для спостереження режимів руху рідини

3.3 Порядок проведення експерименту.

3.3.1. При незначному відкритті крану 9 встановити малу швидкість витікання води з труби. Відчинити кран 6 і пустити підфарбовану рідину.

3.3.2. Мірним пристроєм визначити об'єм води, який протікає крізь трубу за час t .

3.3.3. Збільшити швидкість витікання води шляхом відкриття крану 9 і повторити дослід і необхідні заміри.

3.4 Обробка експериментальних даних.

Для кожного досліді необхідно обчислити:

1. Витрати води за формулою

$$Q = W/t, \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Середню швидкість

$$V = 4Q/\pi d^2, \text{ м/с}$$

3. Число Рейнольдса

$$Re = \frac{Vd}{\nu}, \text{ де } \nu = 1 \text{ сСт.}$$

4. Отримані результати занести у таблицю 3.1

Таблиця 3.1

№ п/п	W, м ³	t, с	V, м/с	Re
1				
2				

5. Визначитись з режимами руху по розрахункам і написати висновок.

ЛАБОРОТОРНА РОБОТА № 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РІВНЯННЯ Д. БЕРНУЛЛІ

Мета роботи.

1. Дослідами перевірити рівняння Д. Бернуллі.
2. Побудувати п'єзометричну та напірну лінії для трубопроводу змінного перерізу.

4.1. Зміст роботи.

Основні рівняння, які дозволяють визначити параметри рідини в напірних потоках, - рівняння нерозривності та рівняння Д.Бернуллі. При вивченні течії рідин у каналах чи трубопроводах важливою є не лише залежність швидкості потоку від площі живого перерізу, але й зв'язок між швидкістю та тиском у потоці. Зв'язок між цими величинами встановлюється за рівнянням Д. Бернуллі, основним рівнянням енергетичної оцінки потоку рухомої рідини. У всіх випадках руху обмежених твердими стінками рідин або газів у потоці, руху твердого тіла в рідині або газі та інших технічних задачах рівняння Бернуллі незмінно пояснює характер руху й дозволяє одержати основні статичні, кінематичні та динамічні параметри потоку.

Для двох перерізів потоку в'язкої реальної рідини при усталеному стаціонарному плавномітному русі рівняння Д.Бернуллі має вигляд:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{\omega 1-2}, \quad (4.1)$$

де Z – відстань від центру тяжіння перерізу до площини порівняння;

P – тиск;

ρ – густина рідини;

g – прискорення вільного падіння;

α – коефіцієнт Коріоліса (безрозмірний), завжди $\alpha > 1$ (при турбулентному режимі $\alpha = 1,04 \dots 1,08$, при ламінарному $\alpha = 2$);

$h_{\omega 1-2}$ – втрата напору між перерізами 1-1 та 2-2.

V – середня швидкість потоку в перерізі;

Рівняння (4.1) застосовується для рішення практичних задач за умов:

1. рух рідини повинен бути усталеним;
2. потік повинен бути плавномісливим, безінерційним і безвихровим;
3. рух рідини здійснюється без енергообміну із зовнішнім середо-

вищем.

Для розуміння рівняння Бернуллі та набуття навичок практичного рішення інженерних задач з'ясуємо геометричний (гідравлічний) і енергетичний (фізичний) зміст всіх складових рівняння (4.1).

Для цього розглянемо рух рідини в трубопроводі змінного перерізу. Графічне зображення членів рівняння Бернуллі показано на рис. 4.1.

Рівнянню Бернуллі можна надати геометричну інтерпретацію. За початок відліку приймають довільно вибрану горизонтальну площину порівняння 0–0 (рис.4.1). Від неї відкладають по вертикалі спочатку значення висоти положення, потім послідовно п'єзометричну висоту та висоту швидкісного напору, і одержують повний напір у даному перерізі

$$H_n = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g}$$

З'єднавши кінці відрізків, що зображають відповідні напори, одержимо три лінії: лінію геометричного напору або висоти положення (вісь трубопроводу); лінію п'єзометричну (при цьому п'єзометрична висота визначається відрізком, обмеженим знизу лінією геометричного напору, а зверху – п'єзометричною лінією); лінію повного напору (при цьому швидкісний напір визначається відрізком між лінією повного і п'єзометричного напорів). Оскільки повна питома енергія вздовж напрямку руху зменшується, то і лінія повного напору буде завжди знижуватись у напрямку руху рідини. Геометричний сенс рівняння

Z – геометрична висота (геометричний напір);

$P/\rho g$ – п'єзометрична висота;

$Z + P/\rho g$ – (п'єзометричний напір);

$\alpha V^2/2g$ – швидкісна висота (швидкісний напір),

Рівняння Бернуллі є наслідком закону збереження енергії

Тому з енергетичної точки зору складові рівняння означають:

Z – питома (що відноситься до одиниці маси) потенційна енергія положення ;

$P/\rho g$ – питома потенційна енергія тиску;

$\alpha V^2/2g$ – питома кінетична енергія;

$Z + P/\rho g$ – питома потенційна енергія рідини в перерізі потоку, що розглядається.

Сума всіх трьох складових ($H_n = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g}$) і є повна питома енергія

рідини в даному перерізі.

З енергетичної точки зору лінія, яка з'єднує рівні в трубках Піто (повні напори) (рис.4.1) називається лінією повної питомої енергії. Лінія, яка з'єднує рівні в п'єзометрах лінією питомої потенційної енергії.

При певних умовах енергія рідини може переходити з одного стану в інший. Наприклад, при звуженні потоку частина потенціальної енергії тиску переходить у кінетичну енергію, а при розширенні потоку – навпаки. Це чітко підтверджується при проведенні даної лабораторної роботи.

Іноді при вирішенні задач, в рівнянні Д. Бернуллі виявляється дві невідомі. Тоді необхідно звернутися до другого важливого рівняння в динаміці - рівняння нерозривності, яке для потоку рідини має вигляд:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (4.2)$$

де v_1, v_2 ; – швидкості в перерізах 1-1 та 2-2;

ω_1, ω_2 – площа перерізів.

4.2. Обладнання

Трубопровід змінного перерізу 3 (рис.4.1) складається з декількох труб послідовно з'єднаних між собою. Відстань між перерізами $L_1=120$ мм, $L_2=335$ мм, $L_3=455$ мм, діаметри труб $d_1=40$ мм, $d_2=25$ мм, $d_3=40$ мм. В ряді перерізів встановлені п'єзометричні трубки 4 і трубки Піто 5, які прикріплені на спеціальний щит. Вода подається в напірний бак 1 відцентровим насосом. Рівень води у напірному баці підтримується за допомогою холостого зливу 2. Вентиль 7 регулює

витрату води у трубі. Для вимірювання витрати води встановлено диференціальний манометр, який вимірює різницю тиску на тарованому коліні 8.

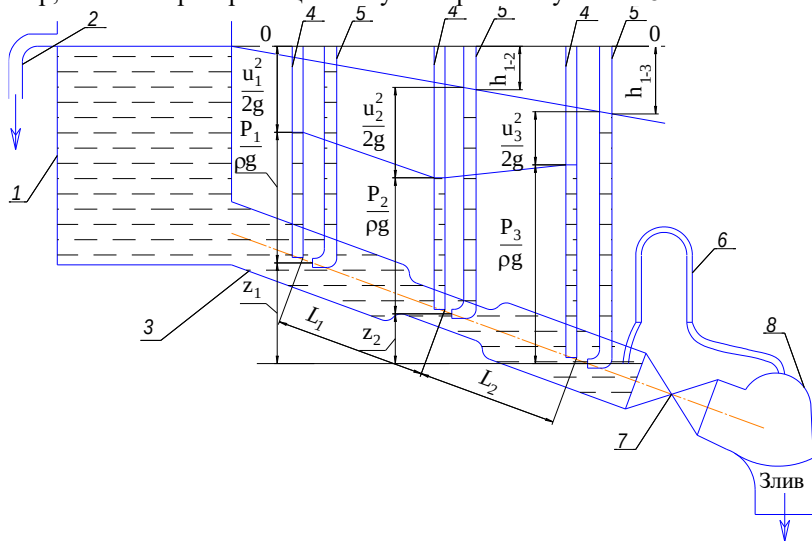


Рис. 4.1 Установка для перевірки рівняння Д.Бернуллі

4.3. Порядок проведення експерименту.

4.3.1. До початку роботи перевірити відсутність повітря у п'єзометрах та трубках Піто. Для цього порівнюють покази усіх трубок. Якщо в них немає повітря (коли вода в трубах не рухається), то вода в трубках повинна бути на одному рівні. Якщо рівні води у п'єзометрах і трубках Піто будуть різні, з них потрібно видалити повітря.

4.3.2. Увімкнути відцентровий насос для заповнення напірного бака водою.

4.3.3 Після заповнення бака відкрити пробковий кран 6 і встановити сталу витрату Q .

4.3.4 Зняти покази п'єзометрів, трубок Піто та дифманометра.

4.3.5 По кривій тарировочного графіка $Q=f(h)$ і показанням дифманометра визначити витрату води $Q, \text{м}^3/\text{с}$.

Примітка: рівні води у п'єзометрах та трубках Піто безперервно змінюються (пульсують). Це свідчить про наявність турбулентного режиму. Тому, щоб уникнути грубих помилок, необхідно фіксувати середнє положення рівнів води у трубках.

4.4. Обробка експериментальних даних.

4.4.1. Розрахувати середні швидкості у трьох перерізах за формулою:

$$V = \frac{4Q_1}{\pi d^2}, \text{ м/с};$$

4.4.2. Розрахувати число Рейнольдса за формулою:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} ;$$

4.4.3. Розрахувати швидкісний напір за формулою:

$$h_u = \frac{\alpha V_1^2}{2g} , \text{ м};$$

4.4.4. Розрахувати повну питому енергію за формулою:

$$E = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} , \text{ м};$$

і порівняти її з показами трубок Піто.

4.4.5. Розрахувати втрату напору між перерізами.

$$h_{\omega 1-2} = E_1 - E_2; h_{\omega 2-3} = E_2 - E_3; h_{\omega 1-3} = E_1 - E_3 , \text{ м}.$$

Таблиця 4.1.

Результати вимірів і розрахунків

Величина	Номер перерізу		
	1	2	3
Покази п'єзометра : $Z + P/\rho g$, м			
Покази трубки Піто: $Z + P/\rho g + V^2/2g$, м			
Середня швидкість : V , м/с			
Число Рейнольдса: Re			
Питома кінетична енергія: $\alpha V^2/2g$, м			
Повна питома енергія: $Z + P/\rho g + \alpha V^2/2g$, м			
Втрата напору: h_{ω} , м			

4.4.6. Побудувати п'єзометричну та напірну лінії, використовуючи показання п'єзометрів та трубок Піто.

4.4.7. За результатами спостереження, розрахунків і побудованому графіку написати висновок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ

Мета роботи.

1. Визначити коефіцієнт гідравлічного тертя дослідним шляхом при різних швидкостях руху води і порівняти отримані дані з теоретичними значеннями.
2. Освоїти методику розрахунку втрати напору по довжині при течії рідини в напірних трубопроводах.

5.1. Зміст роботи.

Розрізняють два види втрат напору:

- втрати по довжині
- втрати на місцевих опорах.

Таким чином, загальні втрати напору визначаються за формулою:

$$h_w = h_o + h_m \quad (5.1)$$

Втрати напору по довжині трубопроводу обумовлюються роботою сил тертя. При русі рідини вони розподіляються рівномірно по довжині трубопроводу постійного перерізу й збільшуються пропорційно до довжини труби. Згідно рівняння Д. Бернуллі втрати напору по довжині визначаються таким чином

$$h_o = (Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g}) - (Z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g}) \quad (5.2)$$

Для горизонтальної труби постійного перерізу рівняння (5.2) при $z = \text{const}$ і $V = \text{const}$ спрощується й приймає вигляд:

$$h_o = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{2g} \quad (5.3)$$

За обґрунтованими висновками Дарсі та Вейсбаха, втрати напору по довжині при русі рідини в трубах визначаються за формулою:

$$h_o = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (5.4)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі (коефіцієнт гідравлічного тертя);

L – довжина ділянки труби;

d – діаметр трубопроводу;

V – середня швидкість потоку;

g – прискорення вільного падіння.

Ця формула застосовується для ламінарного й турбулентного режимів руху. Точність розрахунків залежить від правильного вибору формули для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя. Таким чином, при визначенні втрат напору коефіцієнт λ набуває досить важливого значення. Тому визначення фізичних факторів, що впливають на його значення, і встановлення методів його визначення було на протязі довгого часу предметом широких теоретичних та експериментальних досліджень.

Сучасні розрахункові формули для визначення коефіцієнта λ передбачають його залежність у загальному випадку від шорсткості стінок труби та числа Рейнольдса.

Для вивчення факторів, що впливають на значення коефіцієнта λ , і розробки теорії руху рідини в трубопроводах, суттєве значення мали роботи Прандтля, Кармана, Нікурадзе та інші.

Систематичні експерименти Нікурадзе, що проводились у 1933 році, по дослідженню руху води в трубах із штучною рівномірно зернистою шорсткістю із кварцового піску, були узагальнені як залежність λ від певних параметрів

$$\lambda = f(\text{Re}; \frac{k_e}{d})$$

Аналізуючи графіки Нікурадзе (рис.5.1) можна виділити характерні

області (1, 2, 3, 4), у межах кожної з яких залежність коефіцієнта λ від числа Рейнольдса та відносної еквівалентної шорсткості носить свій особливий характер.

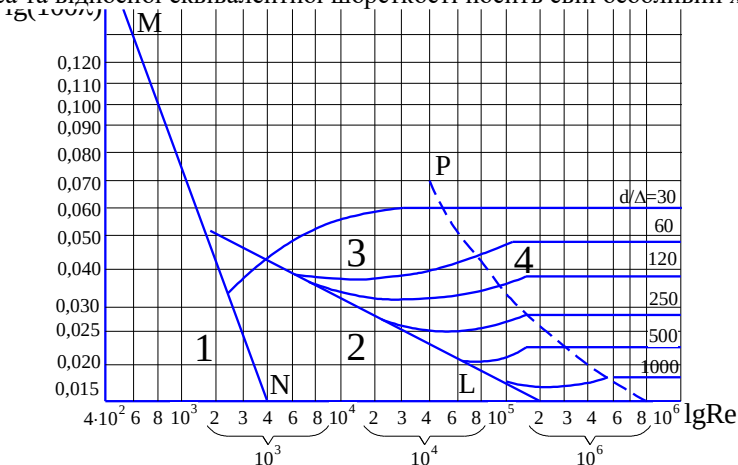


Рис. 5.1 Графік Нікурадзе

1 – область між прямою MN і початком координат – *область ламінарного режиму руху* ($Re < 2320$). Коефіцієнт λ у цій області обумовлюється силами в'язкості рідини й не залежить від шорсткості стінок труби, його величина визначається за формулою Пуазейля

$$\lambda = \frac{64(75)}{Re} \quad (5.5)$$

Межею цієї області є число $Re = 2320$.

2 – область між лініями MN і KL – *область гідралічно-гладких труб*. Потік рідини тут вже знаходиться в умовах турбулентного режиму руху ($Re > 2320$), однак поблизу стінок у в'язкому прошарку зберігається нерухома ламінарна плівка, що покриває виступи шорсткості стінок труби, і потік рухається немовби по гідралічно-гладкому трубопроводу (по рідинному нерухомому шару). Реалізується така течія при числі Рейнольдса, що знаходиться в межах $2320 < Re < 40$. Величина λ у цій області визначається за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (5.6)$$

Втрати напору для гідралічно-гладких труб пропорційні швидкості в ступені 1,75.

3 – область між лініями KL і АВ – *перехідна область*. У цій області в міру збільшення швидкості товщина ламінарної плівки на стінці труби зменшується, частково відкриваючи виступи шорсткості. На цих відкритих виступах спостерігаються зриви потоку й утворюються вихрові ядра. У такому потоці втрати напору обумовлюються як шорсткістю стінок труби, так і силами в'язкості рідини, тобто числом Рейнольдса.

Межі цієї області визначаються наступним виразом $40 < Re < 500$

Для перехідної області найбільшого поширення у вітчизняній практиці по

визначенню коефіцієнта λ одержана універсальна формула А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{k_e}{d} \right)^{0,25} \quad (5.7)$$

де k_e – висота еквівалентної шорсткості;

d – діаметр трубопроводу.

В цій області втрати напору пропорційні швидкості в ступені від 1,75 до 2.

4 – область праворуч від лінії АВ – *область квадратичного опору або зона шорстких труб*.

Швидкість потоку рідини досягає значення, при якому втрати напору не залежать від числа Рейнольдса, а зумовлюються лише силами тертя потоку об стінки трубопроводу. Визначаючим параметром тут є відносна еквівалентна шорсткість. Пристінна ламінарна плівка повністю руйнується, в'язкісний прошарок зникає, і потоком омиваються всі виступи шорсткості по всій їх висоті. На них утворюється поле дрібномасштабних вихорів, яке поширюється по всьому потоку.

Нижньою межею цієї області є $\text{Re} > 500 \frac{d}{k_e}$ Універсальна формула

(5.7) для цієї області перетворюється в формулу Шифрінсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{d} \right)^{0,25} \quad (5.8)$$

Відомо, що в процесі експлуатації трубопроводів шорсткість труб зростає в 2-3 і більше разів, що призводить до значного зростання втрати штору у трубопроводах. Внаслідок цього, зменшується пропускна здатність та ККД гідросистем.

В гідравлічних розрахунках використовують шорсткість труб в залежності від строку експлуатації. Так, для сталених труб прийняти наступні значення:

- сталені нові – $k_e = 0.02 \dots 0.05$ мм;
- сталені після декількох років експлуатації – $k_e = 0.15 \dots 0.3$ мм;
- сталені заіржавлені – $k_e = 0.3 \dots 0.7$ мм;
- сталені дуже заіржавлені – $k_e = 0.8 \dots 1.5$ мм;
- сталені заіржавлені з великим відкладанням – $k_e = 2 \dots 4$ мм.

5.2. Обладнання.

Експериментальна установка (рис. 5.2) включає в себе кільцеву систему труб 7, напірний бак з водою 1, насос 2, прилад для вимірювання витрати води 4, засувку 3, п'єзометри 5, 6, 8, 9. Різниця показань п'єзометрів 5 і 6 визначає сумарні, втрати напору $h_w = h_o + h_m$ тобто втрати по довжині h_o і втрати при місцевих опорах h_m (два повороти та вентиль). Різниця показань п'єзометрів 9 і 6 визначають втрати в місцевих опорах h_m .

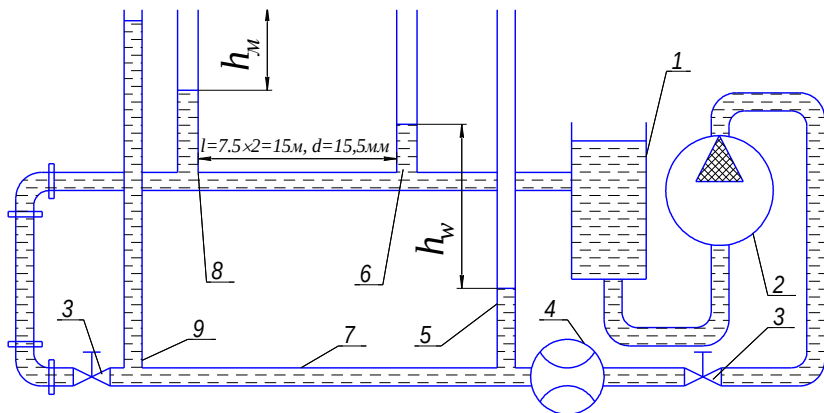


Рис. 5.2 Установка для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя
Прилад для вимірювання витрати води вимірює об'єм води, який проходить крізь переріз труби 7 за проміжок часу (за секундоміром).

5.3. Порядок проведення експерименту.

5.3.1. Увімкнути насос. Витримати проміжок часу 1-2 хвилини, щоб забезпечити усталений рух.

5.3.2. Виміряти об'єм води, який пройде крізь прилад 4 за 100 секунд, або засікти час за який пройде 5літрів води.

5.3.3. Зняти покази п'єзометрів 5, 6, 8, 9.

5.3.4. Виміряти температуру води.

5.3.5. За допомогою засувки крану 3 встановити новий режим. Кількість дослідів визначається викладачем.

5.4. Обробка експериментальних даних.

5.4.1. Визначити кінематичний коефіцієнт в'язкості води при даній температурі по довіднику.

5.4.2. Розрахувати витрату води, м³/с:

$$Q = \frac{W}{t}$$

5.4.3. Розрахувати середню швидкість руху води, м/с:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

5.4.4. Розрахувати втрати по довжині, м:

$$h_o = h_w - h_m$$

5.4.5. Розрахували дослідний коефіцієнт гідравлічного тертя, користуючись формулою Даргі-Вейсбаха:

$$\lambda_o = \frac{2gdh_o}{LV^2}$$

де L - довжина експериментальної ділянки складає 15 м.

5.4.6. Розрахувати число Рейнольдса $Re = \frac{Vd}{\nu}$.

5.4.7. Визначити значення еквівалентної шорсткості для сталеві труби. Потім визначити зону опору і розрахунковий коефіцієнт λ_p по одній із формул (5.5 - 5.8),

5.4.8. Знайти відхилення між розрахунковим і дослідним

$$\delta_\lambda = \frac{\lambda_o - \lambda_p}{\lambda_o} 100\%$$

значеннями λ у відсотках

Пояснити розходження між ними.

5.4.9. Всі дослідні і обчислені дані занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

№ п/п	W м³	t, с	h _w , м	h _m , м	Q, м³/с	V, м/с	Re	h _л , м	λ_o	λ_p	δ_λ
1											
2											
3											

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ

Мета роботи.

1. Одержати навички розрахунку втрати напору в місцевих опорах.
2. Освоїти методику; експериментального визначення коефіцієнтів місцевих опорів.
3. Експериментальне визначити коефіцієнти місцевих опорів при раптовому розширенні та раптовому звуженні, порівняти експериментальні значення з розрахунковими.

6.1 Зміст роботи.

На практиці системи трубопроводів складаються з окремих ділянок, часто різних за діаметрами, з'єднаних поміж собою трійниками, відводами і т. п. Крім того, в систему можуть включатись клапани різних конструкцій, засувки та інша арматура. На ділянках, де змінюється діаметр трубопроводу, різкого повороту, а також встановлення якої-небудь арматури відбуваються додаткові втрати напору. Вони обумовлені різкою зміною величини або напрямку середньої швидкості і зуться втратами напору на місцевих опорах. Значення цих втрат обчислюється за формулою Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad (6.1)$$

де ζ – коефіцієнт втрат на місцевому опорі (безрозмірний);

V – середня швидкість в перерізі трубопроводу (зазвичай за місцевим опором або ж перед ним).

Значення коефіцієнта ζ залежить від виду місцевого опоры, числа Рейнольдса і, в певній мірі, від шорсткості стінок, а для різного роду запірних пристроїв (засувки, затвори, крани та ін.) – від ступеню їх відкриття.

З огляду на складність явища, що відбувається в рідині, яка протікає через місцевий опір, тільки в окремих випадках коефіцієнт ζ може бути обчислений теоретичним шляхом (раптове звуження або раптове розширення трубопроводу). У переважній більшості коефіцієнт ζ визначають експериментальним шляхом і виражають у вигляді емпіричних формул, графіків або таблиць. Зазвичай значення цих коефіцієнтів приводяться у відомих довідниках із гідравліки.

Дані про коефіцієнти місцевих опорів, наведені в довідниковій літературі, відносяться до турбулентного режиму руху із значними числами Re , де прояв ефектів в'язкості рідини незначний. Вважається, що при ламінарному режимі руху або близькому до нього коефіцієнт ζ більшою мірою залежить від числа Рейнольдса. У цьому випадку втрати напору пропорційні швидкості в першій степені, а коефіцієнт місцевих опорів пов'язаний з числом Re залежністю:

$$\zeta = \frac{B}{Re}, \quad (6.2)$$

де B – стала величина, що залежить від виду місцевого опоры, його форми й ступеню стиснення потоку.

При великих числах Рейнольдса (у квадратичній області опоры) формуються відривні течії, які і є основною причиною місцевих опорів. У цій області коефіцієнт ζ для певного місцевого опоры вважається постійним.

Вельми важливий взаємний вплив місцевих опорів при близькому їх розташуванні. Таке розташування місцевих опорів має місце у вентиляційних системах, на насосних станціях і т. п. При цьому сумарний опір може виявитися більшим або меншим, ніж сума втрат напору в окремих місцевих опорах. Якщо відстань між місцевими опорами більше п'яти діаметрів трубопроводу, то їх взаємний вплив не враховується. У лабораторних умовах втрати напору на місцеві опори визначаються згідно рівняння Бернуллі:

$$h_m = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right) \quad (6.3)$$

тобто для визначення втрат напору достатньо знати питому енергію потоку перед місцевим опором і за ним. У тому випадку, коли цей опір розташований на горизонтальному трубопроводі постійного діаметру, вираз (6.3) суттєво спрощується і втрати напору на такому місцевому опорі визначають за різницею показників п'єзометрів, що розміщені перед місцевим опором і за ним, тобто

$$h_m = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{2g} \quad (6.4)$$

Вираз (6.4) може бути використаний тільки у тому випадку, коли місцевий опір розташований на трубопроводі однакового діаметра, різниця показів п'єзометрів являє собою втрати напору на даному місцевому опорі. На різкому розширенні та звуженні для одержання втрат напору до різниці показників п'єзометрів треба додати алгебраїчну різницю швидкісних опорів перед місцевим опором і за ним, тобто

$$h_m = \left[\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \right] + \left[\frac{\alpha V_1^2}{2g} - \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right], \quad (6.5)$$

де $\left[\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \right]$ - різниця п'єзометричних напорів, яка визначається за

показанням п'єзометрів 12, 13 та 15, 16; $\left[\frac{\alpha V_1^2}{2g} - \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right]$ - різниця швидкісних

напорів в перерізах, де розташовані п'єзометри.

6.2. Обладнання.

Роботу виконуємо на установці, яка описана у лабораторній роботі №5. Додатково до неї підключено стальний трубопровід 14, на якому розташовані місцеві опори; раптове розширення та раптове звуження.

Діаметри вузького та широкого перерізів трубопроводу відповідно дорівнюють 15,5 та 34 мм.

Для вимірювання різниці п'єзометричних напорів на раптовому звуженні розташовані п'єзометри 12, 13, а на раптовому розширенні – п'єзометри 15, 16.

Для подавання води у трубопровід треба перекрити вентиль 10, а вентиль 11 – повністю відчинити.

Витрату води вимірюють так як у роботі №6.

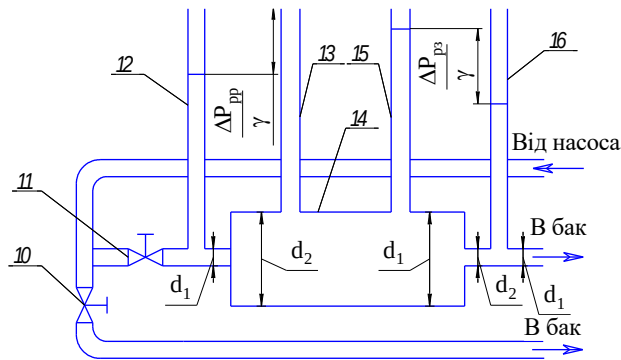


Рис. 6.1. Установка для визначення коефіцієнтів місцевих опорів

6.3. Порядок проведення експерименту.

6.3.1. Увімкнути насос та витримати проміжок часу 1.2, хвилини, щоб забезпечити усталений рух рідини.

6.3.2. По водоміру визначити об'єм рідини, який проходить крізь нього за 100 сек.(або засікти час проходження 5л. рідини.)

6.3.3. Зняти показання п'єзометрів 12, 13 та 15, 16.

6.3.4. За допомогою засувки 3 встановити новий режим. Досліди провести не менше трьох разів.

6.3.5. Всі експериментальні дані занести у таблицю 6.1

6.4. Обробка експериментальних даних.

6.4.1. Визначити витрату води за формулою $Q=W/t$

6.4.2. Розрахувати середні швидкості у вузькому та широкому перерізах за формулою $v=4Q/\pi d^2$

6.4.3. Розрахувати втрату напору при раптовому розширенні та раптовому звуженні за формулами:

$$h_{p.p.} = -\frac{\Delta P_{p.p.}}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

$$h_{p.z.} = \frac{\Delta P_{p.z.}}{\rho g} - \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

6.4.4. Розрахувати дослідний коефіцієнт опору при раптовому розширенні за формулою:

$$\zeta_{p.p.} = \frac{2gh_{p.p.}}{V_2^2}$$

та його теоретичне значення

$$\zeta_{p.p.}^m = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} - 1 \right)^2$$

Знайти відхилення ($\delta, \%$) між дослідним і теоретичним значеннями та пояснити його.

6.4.5. Розрахувати дослідний коефіцієнт опору при раптовому звуженні за формулою:

$$\zeta_{p.z.} = \frac{2gh_{p.z.}}{V_2^2}$$

та його теоретичне значення:

$$\zeta_{p.z.}^m = 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2} \right)$$

Знайти відхилення ($\delta, \%$) між дослідним і теоретичним значеннями та пояснити його.

Всі розрахункові значення занести у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1

Вид опору	№ дос.	W, м ³	t, с	Q, м ³ /с	V ₁ , м/с	V ₂ , м/с	$\frac{\Delta P}{\rho g}$, м	$\zeta_{\text{дос}}$	ζ^m	$\delta, \%$
Раптове розширення	1									
	2									
	3									
Раптове звуження	1									
	2									
	3									

Примітка: Швидкості індексуються за шляхом руху води.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТІКАННЯ РІДИНИ З НАСАДКІВ

Мета роботи:

1. Експериментально визначити коефіцієнт витрати та коефіцієнт швидкості при витіканні рідини з насадків різних типів і порівняти їх значення з довідковими.

2. Експериментальне визначити час витікання води з напірного бака при зменшенні рівня води на 10см та порівняти його з розрахунковим значенням.

7.1. Зміст роботи.

Насадком називається коротка труба довжиною від 3 до 8 діаметрів. Насадки поділяються на такі типи: циліндричні: внутрішні та зовнішні, конічно-збіжні, конічно-розбіжні та інші.

В насадках струмінь спочатку стискається, а потім розширюється, заповнюючи весь переріз. Розрахунковим тут вважається переріз на виході, для якого коефіцієнт стиснення струменя дорівнює одиниці. Витікання рідини з отворів і насадків відбувається при постійному напорі (усталений рух) та при змінному (неусталений), наприклад спустошення ємностей.

У роботі вивчається випадок витікання рідини з малого отвору ($d < 0,1 H$) у вертикальній тонкій стінці ($\delta < 0,2 d$). У процесі витікання запас потенціальної енергії, якою володіє рідина в резервуарі, трансформується в кінетичну енергію вільного струменя.

Швидкість та витрата при витіканні з насадків при сталому напорі визначається за формулами:

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad , \text{ м/с} \quad (7.1)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad , \text{ м}^3/\text{с} \quad (7.2)$$

де V - швидкість витікання (м/с); φ – безрозмірний коефіцієнт швидкості, який враховує втрати напору у насадку; H – діючий напір (м); Q – витрата води (м³/с); μ – безрозмірний коефіцієнт витрати; ω – площа вихідного перерізу насадка (м²).

Коефіцієнт швидкості φ – це відношення дійсної швидкості витікання до теоретичної, а коефіцієнт витрати μ — відношення дійсної витрати до теоретичної.

$$\varphi = \frac{V_d}{V_m} \quad (7.3)$$

$$\mu = \frac{Q_d}{Q_m} \quad (7.4)$$

в цьому й полягає їх фізичне тлумачення.

Теоретична швидкість витікання:

$$V_m = \sqrt{2gH} \quad (7.5)$$

Дійсне значення швидкості можна визначити, якщо розглянути параболічну траєкторію падіння струменя δ для якого :

$$X = Vt ; Z = gt^2 ,$$

де X, Z – координати центра ваги будь-якого перерізу струменя в системі координат, початок якої знаходиться у центрі ваги вихідного перерізу насадка; t – час руху частинок від вихідного перерізу до перерізу: $n-n$.

Таким чином, дійсну швидкість можна визначити з рівняння:

$$V_{\delta} = X \sqrt{g / 2Z} \quad (7.6)$$

а коефіцієнт швидкості визначити за формулою 7.3

Для визначення коефіцієнта витрати ц. треба визначити дійсну та теоретичну витрати рідини.

Дійсна витрати визначається за допомогою мірного баку і секундоміра та розраховується за формулою:

$$Q_{\delta} = \frac{\omega \Delta h}{t}, \quad (7.7)$$

де ω – площа мірного баку, м^2 ;

Δh – зміна рівня п'єзометра в мірному баці, м ;

t – час витікання води через насадки, с .

Теоретична витрата розраховується за формулою:

$$Q = \omega \sqrt{2gH} \quad (7.8)$$

де ω – площа вихідного перерізу насадка;

H – діючий напір, м .

Головною практичною задачею у випадку витікання рідини при змінному напорі (неусталений рух) являється визначення часу, під час якого відбудеться пониження або підвищення рівня рідини в резервуарі у заданих межах. Час витікання рідини при зниженні рівня води у баці можна визначити за формулою:

$$t_m = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}} \left(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} \right), \quad (7.9)$$

де Ω – площа поперечного перерізу баку (м^2);

H_1 та H_2 – відповідно початковий та кінцевий напір (м).

7.2 Обладнання.

Вода відцентровим насосом 1 (рис. 7.1) по трубі 2 подається у напірний бак 6 з площиною поперечного перерізу Ω , у стінці якого є отвір. На стінці бака розташована турель 7 з насадками: конічно-збіжним, конічно-розбіжним та циліндричним. Обертаючи турель, до отвору приєднують будь-який з насадків.

Витрату води регулюють вентилям 4. Для утримання у баці сталого рівня використовують зливну трубу 5, а для вимірювання рівня – п'єзометр 3. Для вимірювання координат центра ваги будь-якого перерізу струменя використовують координатну сітку 8. Довжина сторони клітинки дорівнює 5 см. Дійсну витрату вимірюють за допомогою мірного баку 9. Зміну рівня рідини в мірному баці вимірюють п'єзометром 10 при закритому пробковому крані 11. Діаметри вихідних перерізів насадків – циліндричний $d = 10$ мм, конічно-збіжний $d = 6,5$ мм, конічно-розбіжний $d = 14$ мм.

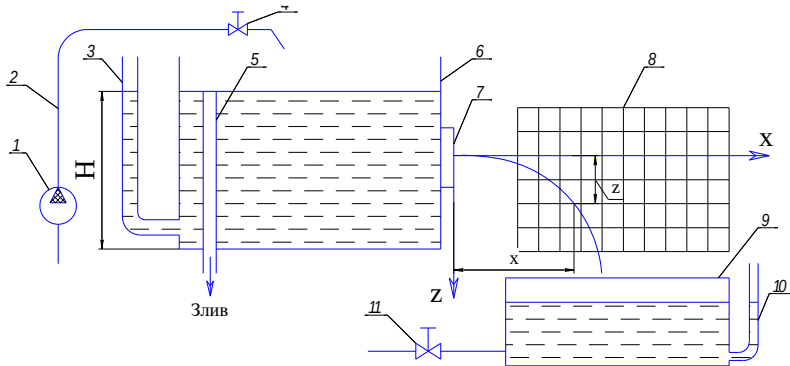


Рис. 7.1 Установка для дослідження витікання води з насадків

7.3. Порядок проведення експерименту.

7.3.1. Увімкнути відцентровий насос та відчинити засувку на трубі, по якій вода поступає в напірний бак.

7.3.2. Після наповнення баку і встановлення сталого рівня, при якому здійснюється злив води по зливній трубі 5, обертанням турелі встановити будь-який з насадків, крізь який витікає струмінь рідини.

7.3.3. По п'єзометру 7 виміряти напір H та за допомогою координатної сітки визначити координати X та Z у будь-якому перерізі струменя.

7.3.4. Для підрахунку витрати визначити об'єм води, який надходить у мірний бак за 180 с.

7.3.5. Досліди повторюють для інших насадків.

7.3.6. Для визначення часу часткового спустошення бака зачинити засувку та вимкнути насос. Після цього почнеться витікання при змінному напорі.

7.3.7. Поворотом турелі встановити циліндричний насадок та при початковому рівні H увімкнути секундомір. Після зниження рівня на 10-20 см вимкнути секундомір. ($t_{\text{досл}}$), с.

7.3.8. Усі експериментальні дані занести у табл. 7.1 та 7.3

Таблиця 7.1

Тип насадки	d, мм	ω , м ²	Δh , м	t, с	X, м	Z, м
Конічно-розбіжна						
Циліндрична						
Конічно-збіжна						

7.3.9. Усі розрахункові значення занести у табл. 7.2 та 7.3

Таблиця 7.2

Тип насадки	V _т , м/с	V _д , м/с	Коеф.швидкості		Q _т , м ³ /с	Q _д , м ³ /с	Коеф.витрати	
			φ_t	φ_d			μ_t	μ_d
Конічно-розбіжна								
Циліндрична								
Конічно-збіжна								

7.4 Обробка експериментальних даних.

7.4.1. Визначити теоретичну швидкість витікання за формулою (7.5)

7.4.2. Визначити дійсну швидкість за формулою (7.6)

7.4.3. Визначити коефіцієнти швидкості за формулою (7.3) та порівняти їх з довідниковими значеннями.

7.4.4. Визначити теоретичну витрату за формулою (7.8)

7.4.5. Визначити дійсну витрату за формулою (7.7)

7.4.6. Визначити коефіцієнти витрати за формулою (7.4) та порівняти їх з довідниковими значеннями.

7.4.7. Визначити теоретичний час витікання води крізь циліндричний насадок за формулою (7.9)

7.4.8. Розрахувати відхилення між $t_{\text{досл.}}$ і t_m , результат занести у таблицю 7.3.

Таблиця 7.3

Початковий напір H_1 , м	
Кінцевий напір H_2 , м	
Дослідний час витікання $t_{\text{досл.}}$, с	
Теоретичний час витікання t_m , с	
Відхилення, %	

7.4.9. Написати висновок, в якому пояснити: від яких параметрів залежить дальність польоту струменя; випадки застосування різних типів насадок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання і гідропневмопривод / В. А. Дідур, О. Д. Савченко, С. І. Пастушенко, С.І.Мовчан. – Запоріжжя: Прем'єр, 2005. – 435 с.
2. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: Підручник. — Київ: Фірма «ІНКОС», Центр навчальної літератури, 2006. - 616 с.
3. Дідур В.А. та ін. Гідравліка та її використання в агропромисловому комплексі / Дідур В.А., Савченко О.Д., Журавель Д.П., Мовчан С.І. – К. : Аграрна освіта, 2008. – 577 с.
4. Бібліотеки України (каталоги і повні тексти)
[http://www.ecatalog.name/x/x/x.exe?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=i
nfow_wh&S21ALL=\(K%3Dмеханізація\)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10S21CNR=&S21CNR=20](http://www.ecatalog.name/x/x/x.exe?LNG=&C21COM=S&I21DBN=NBUV&P21DBN=NBUV&S21FMT=i
nfow_wh&S21ALL=(K%3Dмеханізація)&Z21ID=&S21SRW=TIPVID&S21SRD=&S21STN=1&S21REF=10S21CNR=&S21CNR=20)
5. Наукова бібліотека Національного університету біоресурсів і природокористування України
[http://irb.nubip.edu.ua/cgi-bin/irbis64r_14/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=NUBIP&P21DBN=NUBIP&S21S
TN=1&S21REF=5&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=S=&S21STR=Механізація%20лісогосподарських%20робіт](http://irb.nubip.edu.ua/cgi-bin/irbis64r_14/cgiirbis_64.exe?LNG=&Z21ID=&I21DBN=NUBIP&P21DBN=NUBIP&S21S
TN=1&S21REF=5&S21FMT=fullwebr&C21COM=S&S21CNR=10&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=S=&S21STR=Механізація%20лісогосподарських%20робіт)
6. www.nbu.gov.ua – Національна бібліотека України ім. Вернадського