

**Національний університет
«Чернігівський колегіум»
імені Т.Г.Шевченка**

В.Г. ГЕТТА

**ГІДРАВЛІКА ТА
ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ**

Лабораторний практикум

Чернігів 2023

ББК ЖЗ_я73

Г 44

УДК 620.1

Рецензенти:

Генадій БОЛОТОВ

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології зварювання та будівництва. Національний університет «Чернігівська політехніка»

Микола ХОВИЧ

Кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри технологічної освіти та інформатики. Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка

Гетта В.Г.

Гідравліка та гідравлічні машини (лабораторний практикум): Навчально-методичний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів з спеціальності «Педагогіка і методика середньої освіти. Трудове навчання». – Чернігів. Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, 2023. – 104 с.

Гетта В.Г. 2023

Лабораторна робота № 1

ВИМІРЮВАННЯ ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ

Мета роботи: Навчитися проводити вимірювання гідростатичного тиску за допомогою п'єзометрів.

При виконанні роботи треба отримати такі знання і вміння:

Знання:

- види гідростатичного тиску;
- вакуум, отримання вакууму водострумінним насосом.

Уміння:

- визначати гідростатичний тиск за допомогою п'єзометрів;
- визначати вакуум за допомогою п'єзометрів.

Обладнання та інструменти: лабораторна установка типу ГД-1,
барометр БМ-2 N.

Короткі теоретичні відомості

На рідину, яка знаходиться в рівновазі, діють зовнішні сили:

- 1) поверхневі (атмосферний тиск, тиск газів, пари тощо);
- 2) масові (об'ємні) сили (сила ваги рідини, сили інерції тощо).

Під дією зовнішніх сил у рідині виникає гідростатичний тиск. Цей тиск можна знайти користуючись основним рівнянням гідростатики.

$$p_A = p_0 + \rho \cdot g \cdot h,$$

де p_A - абсолютний гідростатичний тиск;

p_0 - надлишковий тиск на поверхню рідини;

ρ - густина рідини;

h - глибина занурення точки, в якій вимірюється тиск.

Якщо $p_A < p_a$, то значення абсолютного тиску визначається за формулою:

$$p_A = \rho \cdot g \cdot h_{\text{вак}} - p_a$$

де $h_{\text{вак}}$ - висота вакууму (недостача тиску до атмосферного).

Вимірювання різного виду гідростатичних тисків (абсолютного, надлишкового, вакууму) можна здійснити різними приладами – п'єзометрами, манометрами, вакуумметрами тощо.

В даній лабораторній установці вимірювання гідростатичного

тиску здійснюється п'єзометрами, які пов'язані з установкою ГД-1 (Рис.1.1).

Установка типу ГД-1 призначена для вимірювання гідростатичного тиску за допомогою п'єзометрів.

Будова установки. Основою установки Рис 1.1 є виготовлений ливарним способом *корпус*. У верхній частині корпусу розміщений основний *резервуар* 4.

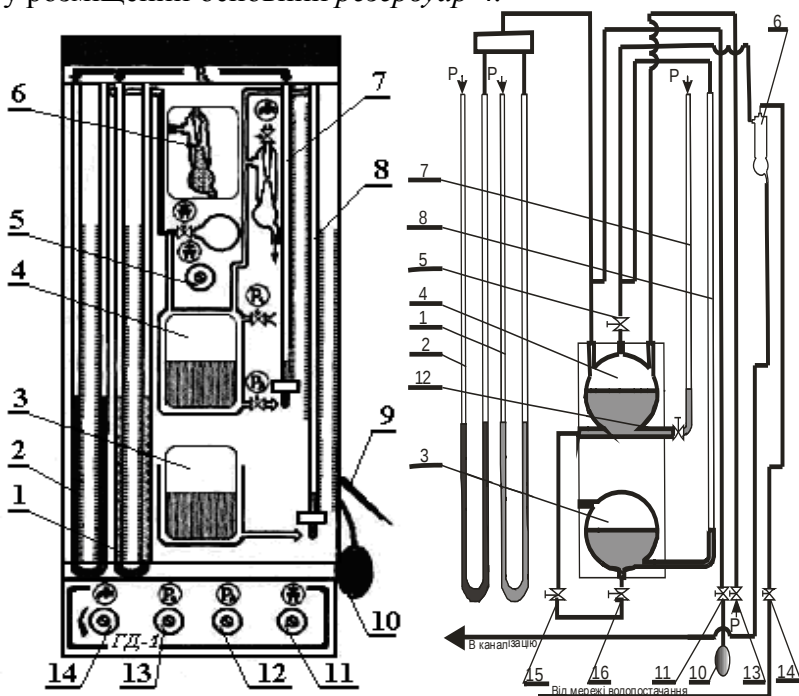


Рис. 1.1 Будова лабораторної установки ГД-1

За допомогою крану 13 порожнина основного резервуару може бути з'єднана з атмосферою. У нижній частині корпусу розміщений *резервуар зворотного п'єзометра* 3. Порожнина цього резервуару постійно з'єднана з атмосферою. Передня стінка обох резервуарів має прозорі врізні вікна. Через них видно рівень заповненості резервуарів водою. Як перший, так і другий резервуари з'єднані з п'єзометрами. Мають вони також вентиля для заливання води.

Для створення надлишкового тиску в основному резервуарі використовують *ручний насос* 10 (або гумову грушу).

Для створення розрідження над водою в основному резервуарі установка має *водострумінний насос*, який працює від водогону. Водострумінний насос розміщений всередині кожуха установки. За його роботою можна спостерігати через застеклене вікно. Нижня частина насосу, через яку витікає вода, з'єднана з каналізацією.

П'єзометри розміщені на передній панелі установки. П'єзометри 1 і 2 одним кінцем з'єднані з повітряним простором основного резервуару, а другим з атмосферою. Робочою рідиною п'єзометра 1 є спирт або гас, а 2 – вода. П'єзометри 1 і 2 призначені для вимірювання надлишкового тиску або вакууму над водою в основному резервуарі.

П'єзометр 7 одним кінцем з'єднаний з нижньою точкою основного резервуару, а другим безпосередньо з атмосферою. Він призначений для вимірювання абсолютного гідростатичного тиску в нижній точці основного резервуару. Оскільки радіус резервуару 90 мм, то при рівні води до половини, (що відповідає нанесеній на склі рисці) $h = 90$ мм.

Зворотний п'єзометр (вакуумметр) 8 одним кінцем з'єднаний з повітряною областю основного резервуару.

Органи управління (крани) розташовані на передній панелі установки. Поворотом рукоятки крану 14 запускають або зупиняють роботу водострумінного насосу.

За допомогою рукоятки крану 5 можна відключити зворотній п'єзометр від повітряної частини основного резервуару. Ручкою 5

також можна з'єднати основний резервуар з патрубком водострумінного насосу. За допомогою крану 11 основний резервуар можна з'єднати з ручним повітряним насосом.

Живиться установка водою від водогону. Відведення її від установки в каналізацію здійснюється через штуцер, що розташований на задній стінці установки. Там же розташовані крани 15, 16, за допомогою яких відбувається зливання води з резервуарів у каналізацію.

Порядок виконання роботи

1. Згідно відомостей про установку ГД - 1 у звітну таблицю записати густину води і гасу.

2. За допомогою барометра провести вимірювання атмосферного тиску. Отримані дані записати у таблицю 1 і 2.

***Увага!** Барометр БМ-2 N вимірює атмосферний тиск у мм. рт. ст., але для проведення розрахунків тиск необхідно записати у Па (при переведенні величини необхідно врахувати, що $101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$).*

3. Перевірити стан готовності установки для вимірювання надлишкового тиску у повітряній частині головного резервуару 4.

- кран 14, живлення водострумінного насосу 6, в положенні – «Закрито»;

- кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару 4, з атмосферою, в положенні – «Відкрито»;

- кран 12, підключення п'єзометра до нижньої точки (дна) основного резервуару, в положенні – «Відкрито»;

- кран 11, з'єднання повітряної частини головного резервуару з насосом надлишкового тиску 10, в положенні – «Відкрито»;

- кран 5 з'єднання повітряної частини головного резервуару із зворотним п'єзометром, в положенні – «Закрито».

4. Якщо рівні рідин в колінах п'єзометрів № 1 і № 2 зрівноважені, то кран 13 з'єднання повітряної частини головного

резервуару з атмосферою, закрити.

5. Насосом 10 (гумова груша) створити надлишковий тиск в головному резервуарі 4 і закрити кран 11, з'єднання повітряної частини головного резервуару з насосом.

***Увага!** При створенні надлишкового тиску в повітряній частині головного резервуару необхідно слідкувати за показами п'єзометрів №1, №2, №3- Їх значення не повинні перевищувати 60 см. Якщо дана умова порушується необхідно негайно відкрити кран (13), з'єднання повітряної частини головного резервуару 4 з атмосферою.*

6. Зняти покази з п'єзометртв №1, №2 та №3, і записати їх до звітної таблиці 1.

7. Відкрити кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару 4 з атмосферою.

8. Згідно пунктів 4-7 повторити дослід два рази.

9. Перевірити стан готовності установки для вимірювання вакууметричного тиску у повітряній частині головного резервуару:

- кран 14, живлення водострумінного насосу 6, в положенні – «Закрито»;

- кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару 4 з атмосферою, в положенні – «Відкрито»;

- кран 12, включення п'єзометра до нижньої точки (дна) основного резервуару, в положенні – «Закрито»;

- кран 11, з'єднання повітряної частини головного резервуару з насосом надлишкового тиску 10 в положенні – «Закрито»;

- кран 5, з'єднання повітряної частини головного резервуару із зворотним п'єзометром, в положенні – «Відкрито».

10. При атмосферному тиску в повітряній частині головного резервуару зняти покази із зворотного п'єзометра № 4 і занести їх у звітну таблицю 2.

11. Відкрити кран 14, живлення водострумінного насосу 6.

12. Закрити кран 13, з'єднання повітряної частини головного

резервуару 4 з атмосферою. Якщо, рівень рідини в п'езометрах №1 і №2 почне підніматися в лівому коліні, то необхідно швидко відкрити кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару з атмосферою. Через хвилину повторити спробу. Якщо, рівень рідини в п'езометрах №1 і №2 почне підніматися в правому коліні, то після виникнення різниці між рівнями в колінах одного п'езометра закрити кран 14, живлення водострумінного насосу 6.

***Увага!** При створенні вакууметричного тиску в повітряній частині головного резервуару необхідно слідкувати за показами п'езометрів №1, №2, №4 : Їх значення не повинно перевищувати 60 см. Якщо дана умова порушується необхідно негайно відкрити кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару 4 з атмосферою.*

Зняти покази з п'езометрів №1, №2 та №4 і записати їх до звітної таблиці 2.

13. Відкрити кран 13, з'єднання повітряної частини головного резервуару з атмосферою.

14. Згідно пункту 11-14 повторити дослід два рази.

15. Провести необхідні обчислення згідно звітних таблиць 1 і 2.

Питання для самоконтролю

1. Під дією яких зовнішніх сил і при якій умові в рідині виникає гідростатичний тиск?

2. Порівняйте повний гідростатичний тиск у відкритій та закритій посудині, чим вони відрізняються?

3. Як визначити надлишковий тиск у відкритій та закритій посудині. Чим вони відрізняються ?

4. Що називається поверхневим та вакууметричним тиском?

5. Що таке п'езометр та п'езометрична висота?

Завдання до роботи

1. Користуючись літературою, з'ясуйте теоретичні питання теми лабораторної роботи та дайте відповіді на питання для самоконтролю.
2. Ознайомтесь з будовою та принципом роботи лабораторної установки ГД-1.
3. Намалуйте загальний вигляд та гідравлічну схему лабораторної установки ГД-1.
4. Накресліть звітні таблиці №1 і №2.
5. Проведіть вимірювання згідно порядку виконання роботи.
6. Складіть звіт про роботу.

Звіт про роботу

Таблиця 1.1 (звітна)

Величина		Позначення	Розмір- ність	Дослід		
				1	2	3
1		2	3	4	5	6
ВИМІРЯТИ	Густина води	ρ_1	кг/м ³			
	Густина гасу	ρ_2	кг/м ³			
	Атмосферний тиск	p_a	Па			
	П'єзометр №1	$h_{1л}$	м			
		$h_{1н}$	м			
	П'єзометр №2	$h_{2л}$	м			
		$h_{2н}$	м			
	П'єзометр №3	h_3	м			
ОБЧИСЛИТИ	П'єзометр №1	$h_1 = h_{1л} - h_{1н}$	м			
	П'єзометр №2	$h_2 = h_{2л} - h_{2н}$	м			
	Надлишковий тиск	$p_1 = \rho_1 g h_1$	Па			
		$p_1 = \rho_2 g h_2$	Па			
	Абсолютний тиск у замкненій повітряній частині основного резервуару	$p_{01} = p_a + p_1$	Па			
		$p_{02} = p_a + p_2$	Па			
	Повний тиск на дні основного резервуару	$p = p_a +$ $+ p_1 = \rho_3 g h_3$	Па			

Таблиця 1.2 (звітна)

Величина		Позначення	Розмірність	Дослід		
				1	2	3
1		2	3	4	5	6
ВИМІРЯТИ	Густина води	ρ_1	кг/м ³			
	Густина гасу	ρ_2	кг/м ³			
	Атмосферний тиск	p_a	Па			
	П'єзометр №1	$h_{1л}$	м			
		h_{2n}	м			
	П'єзометр №2	$h_{2л}$	м			
		h_{2n}	м			
	П'єзометр №4	h_{40}	м			
		h_{41}	м			
ОБЧИСЛИТИ	П'єзометр №1	$h_1 = h_{1л} - h_{1n}$	м			
	П'єзометр №2	$h_2 = h_{2л} - h_{2n}$	м			
	П'єзометр №4	$h_4 = h_{41} - h_{40}$	м			
	Вакууметричний тиск	$p_{вак1} = \rho_1 g$	Па			
		$p_{вак2} = \rho_2 g$	Па			
		$p_{вак4} = \rho_2 g$	Па			
	Абсолютний тиск у замкненій повітряній частині основного резервуару	$p_{01} = p_a - p_{вак1}$	Па			
		$p_{02} = p_a - p_{вак1}$	Па			
		$p_{04} = p_a - p_{вак4}$	Па			

Завдання для самостійної роботи

Глибоке розуміння гідростатики відбувається в процесі розв'язання задач. Але при їх розв'язанні треба дотримуватись певних порад. Перш за все треба усвідомити і не змішувати такі поняття як: «тиск», «сила», «надлишковий тиск», «абсолютний тиск», «вакуум» і «п'єзометрична висота».

При розв'язанні задач на визначення тиску в будь-якій точці рідини треба користуватись основним рівнянням гідростатики ($p = p_0 + \rho gh$). На перший погляд воно просте, проте досвід свідчить, що усвідомлюється важко. При застосуванні цього рівняння треба мати на увазі, що другий член може бути як додатнім, так і від'ємним. Очевидно, що при збільшенні глибини тиск росте, а при піднятті – зменшується.

Треба з'ясувати одиниці вимірювання тиску в різних системах, вміти переводити одні одиниці в інші.

В механіці і гідравліці, яка вивчає закони механіки рідин, основними одиницями СІ є: одиниця довжини (метр, м), маси (кілограм, кг), і часу (секунда, с); додатковою одиницею вимірювання плоского кута – радіан (рад.).

Похідні одиниці СІ:

Ньютон (Н) – сила, яка надає тілу масою 1 кг прискорення 1 м/с^2 в напрямку дії сили.

Паскаль (Па) – тиск, який викликається силою 1 Н, рівномірно розподілений по поверхні площею 1 м^2 .

Джоуль (Дж) – робота сили 1 Н при переміщенні нею тіла на відстань 1 м в напрямку дії сили.

Ват (Вт) – потужність, при якій робота 1 Дж здійснюється за час 1 с.

Таблиця 1.3 Співвідношення між одиницями в системах СІ і МКГСС.

Величина	Зв'язок між одиницями МКГСС і СІ		Зв'язок між одиницями СІ і МКГСС	
	Одиниці в системі МКГСС	Перевід в одиниці СІ	Одиниці в системі СІ	Перевід в одиниці МКГСС
Сила	1 кгс	9,81 Н	1Н	0,102 кгс
Тиск	1кгс/м ²	9,81 Па	1Па	0,102кгс/м ²
Густина	1кгс/см ²	98,00 Па = = 98,1кПа	1Па	1,02·10 ⁵ кгс/см ²
Робота	1кгс ² /м ⁴	9,81 кг/м ³	1 кг/м ³	0,102 кгс ² /м ⁴
Потужність	1кгс·м	9,81 Дж	1 Дж	0,102 кгс · м
	1кгс·м/с	9,81 Вт	1 Вт	0,102 кгс · м/с

Слід також прийняти до уваги, що густина дистильованої води при 4°С

$$\rho = 1000 \text{ кгс/м}^3$$

Густина води в звичайних умовах (не дистильована, але чиста) практично не відрізняється від дистильованої.

При нагріванні води густина зменшується, але не значно.

При нагріванні до 30°С зменшується на 0,47 %.

Морська вода має дещо більшу густину, ніж звичайна.

$$\rho = 1020 \div 1030 \text{ кгс/м}^3.$$

Зробіть аналіз розв'язку задач 1, 2, 3, та 4

Задача 1

Визначити повний гідростатичний і манометричний тиск на дні посудини наповненої водою. Посудина зверху відкрита, тиск на вільній поверхні атмосферний. Глибина води в посудині $h = 1,2$ м.

Розв'язання. Повний гідростатичний тиск в точці визначається залежністю:

$$p = p_{am} + \rho gh$$

В системі СІ:

$$p_{am} = 98100 \text{ Па}, \rho = 1000 \text{ кгс/м}^3 \\ p = 98100 + 1000 \cdot 1,2 = 99300 \text{ Па} = 99,3 \text{ кПа}.$$

В системі МКГСС:

$$p_{am} = 10000 \text{ кгс/см}^2, \rho = 1000 \text{ кгс/м}^3, \\ p = 10000 + 1000 \cdot 1,2 = 11200 \text{ кгс/см}^2.$$

У позасистемних одиницях:

$$p_{am} = 1 \text{ кгс/см}^2, \rho = 0,001 \text{ кгс/см}^3, \\ p = 1 + 0,001 \cdot 120 = 1,12 \text{ кгс/см}^2.$$

Манометричний тиск на дні посудини визначається як різниця між повним гідростатичним тиском і атмосферним:

$$P_m = p - p_{am} = \rho g h.$$

В системі СІ:

$$P_m = 109872 - 98100 = 11772 \text{ Па} = 11,772 \text{ кПа}.$$

В системі МКГСС:

$$P_m = 11200 - 10000 = 1200 \text{ кгс/см}^2.$$

У позасистемних одиницях:

$$P_m = 1,2 - 1 = 0,12 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 2

Визначити повний гідростатичний тиск і вакуум в точці, розміщеній на глибині $h = 0,5$ м в посудині з нафтою ($\rho_\gamma = 0,8$). Тиск на вільній поверхні рідини $p_0 = 0,9$ кгс/см².

Розв'язання. Повний гідростатичний тиск в точці визначається за формулою:

$$p = p_0 + \rho g h.$$

В системі СІ:

$$p = 0,9 \cdot 98100 + 0,8 \cdot 9810 \cdot 0,5 = 92214 \text{ Па} = 92,214 \text{ кПа}.$$

В системі МКГСС:

$$p = 0,9 \cdot 10000 + 0,8 \cdot 1000 \cdot 0,5 = 9400 \text{ кгс/м}^2.$$

У позасистемних одиницях:

$$p = 0,9 + 0,8 \cdot 0,001 \cdot 50 = 0,94 \text{ кгс/см}^2.$$

Тиск в точці, що розглядається, менший атмосферного. Величина вакууму визначається за формулою:

$$P_{\text{вак}} = p_{\text{ат}} - p.$$

В системі СІ:

$$p_{\text{вак}} = 98100 - 92214 = 5886 \text{ Па} = 5,886 \text{ кПа}.$$

В системі МКГСС:

$$p_{\text{вак}} = 10000 - 9400 = 600 \text{ кгс/м}^2.$$

У позасистемних одиницях:

$$p_{\text{вак}} = 1 - 0,940 = 0,060 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 3

Диференціальний ртутний манометр приєднаний до двох трубопроводів С і D з водою (Рис.1.2). Визначити різницю тисків в трубопроводах, якщо висота стовпа ртуті $h_p = 40$ см.

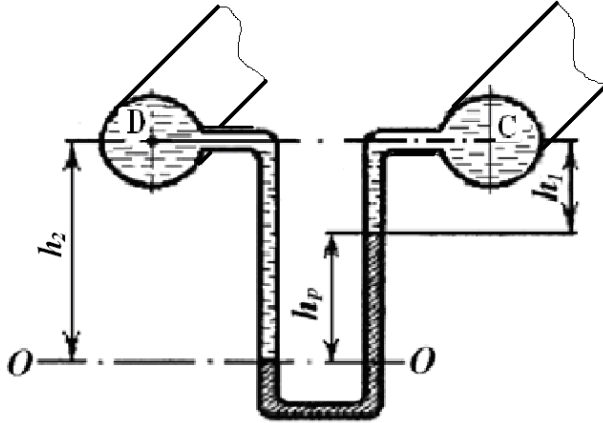


Рис.1.2 Рисунок до задачі 3

Розв'язання. Складемо рівняння відносно нижнього розділу між водою і ртуттю (ОО),

$$p_D + \rho g h_2 = p_C + \rho g h_1 + \rho g_p h_p.$$

З нього маємо

$$p_D - p_C = \rho g (h_1 + h_2) + \rho_p g h_p$$

або враховуючи, що $h_2 - h_1 = h_p$,

$$p_D - p_C = h_p (\rho_p - \rho) g = 0,4 (1360 - 1000 \cdot 9,8) = 9251,2 \text{ кгс/м}^2.$$

Отже, різниця тиску в трубопроводах визначається різницею рівнів в колінах манометра.

Задача 4

Побудувати епюру манометричного тиску на стінку ABC (Рис.1.3).

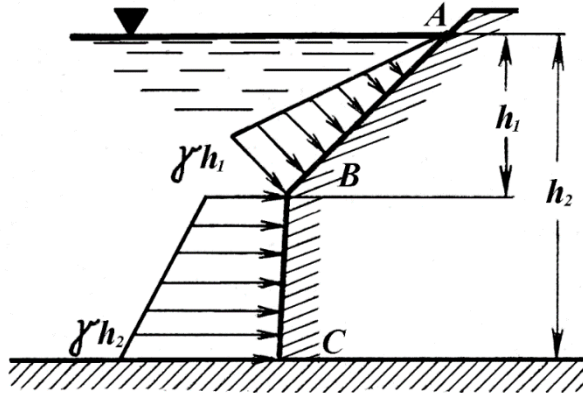


Рис.1.3 Рисунок до задачі 4

Розв'яжіть задачі 5 і 6

Задача 5

Нехай тиск на поверхні води в посудині $p > p_{am}$ (Рис.1.4). В п'єзометрі, встановленому в точці С на глибині $h_c = 0,5$ м, вода піднялася на висоту $h = 1,5$ м. Визначити манометричний тиск в точці С і на вільній поверхні в посудині. Визначити повний гідростатичний тиск над рідиною.

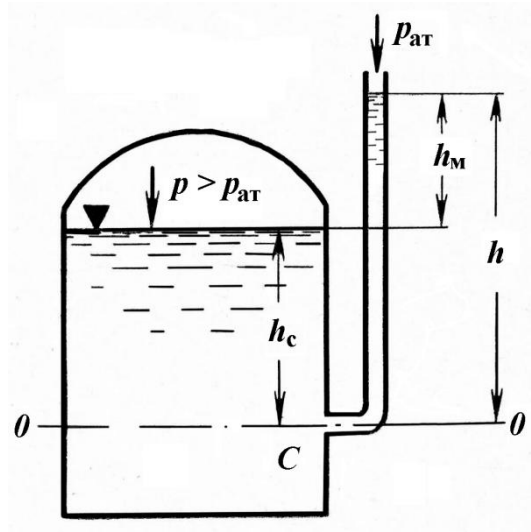


Рис.1.4 Рисунок до задачі 5

Задача 6

Визначити висоту на яку підніметься вода в вакуумметрі (Рис.1.5), якщо повний гідростатичний тиск в балоні $p = 0,8$ кгс/см².

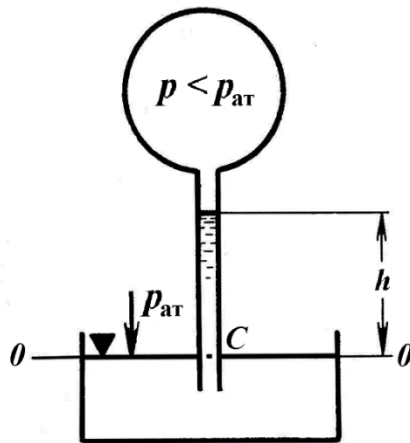


Рис.1.5 Рисунок до задачі 6

ЛІТЕРАТУРА

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота № 2 **ВИВЧЕННЯ ВІДНОСНОГО СПОКОЮ РІДИНИ У** **ПОСУДИНІ, ЯКА ОБЕРТАЄТЬСЯ НАВКОЛО ОСІ**

Мета роботи: Ознайомитися з практичним застосуванням диференційних рівнянь спокою рідини.

При виконанні роботи треба отримати такі знання та уміння:

Знання:

- сутність процесів, що відбуваються в рідині при її відносному спокої;

- методика розв'язування задач із застосуванням рівнянь Л. Ейлера.

Уміння:

- користуватись установкою типу ГД-2;
- визначати координати точок кривої вільної поверхні рідини у посудині, яка обертається.

Обладнання та інструменти: лабораторна установка типу ГД-2.

Будова лабораторної установки ГД-2.

Установка типу ГД-2 призначена для вимірювання координат точок вільної поверхні рідини в посудині, що обертається навколо власної осі (Рис. 2.1).

Дана установка складається з виготовленого ливарним способом корпусу, посудини 2 з рідиною (трансформаторним мастилом) 12, захисного екрану 3, блоку живлення, пристрою для вимірювання координат кривої вільної поверхні рідини 4, 5, 6, 7, 8, електроприводу (двигун - 14, муфта - 15, черв'ячний редуктор -13) з елементами керування частотою обертання 11.

Циліндрична посудина 2 наповнена на 0,6 власної висоти трансформаторним мастилом 12. Через черв'ячний редуктор 13 електродвигуном 14, посудина 2 приводниться в обертання. При обертанні посудини навколо власної осі вільна поверхня рідини набуває форми параболоїду обертання.

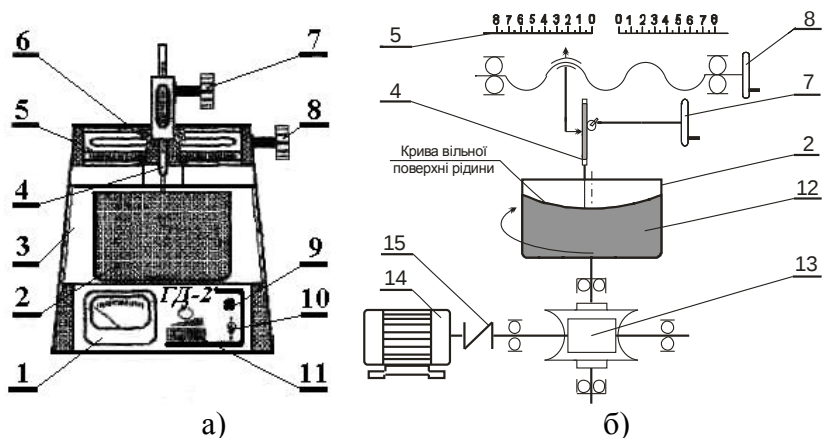


Рис.2.1 Лабораторна установка ГД-2

а) – загальний вигляд установки ГД-2; б) – схема установки ГД-2

Для вимірювання координат по осям ординат та абсцис

використовують вимірювальний пристрій, який має вимірювальну голку 4 та каретку 6. При обертанні рукоятки 8 каретка 6, а відповідно і вимірювальна голка 4 рухається у горизонтальному напрямку. Відлік зміщення (у правий або лівий бік) здійснюється за шкалою 5.

Вертикальне переміщення вимірювальної голки здійснюється при обертанні рукоятки 7. На поверхні штока вимірювальної голки (4) нанесена шкала, за якою знаходять вертикальні координати вільної поверхні рідини. Точність відліку вертикальних переміщень, відповідно шкалі ноніуса (нанесена на віконці каретки) не менше 0,1 мм.

На передній панелі містяться: тумблер 10, який здійснює включення - виключення електроприводу; лампочка 9, сигналізує про підключення двигуна установки до мережі; регулятор 11 призначений для зміни частоти обертання посудини з рідиною; міліамперметр, 1 призначений для вимірювання струму у колі електроприводу на основі якого за тарировочною таблицею визначається частота обертання посудини 2.

Короткі теоретичні відомості

Циліндрична посудина, наповнена рідиною обертається навколо своєї вертикальної осі рівномірно, тобто з постійною кутовою швидкістю ω .

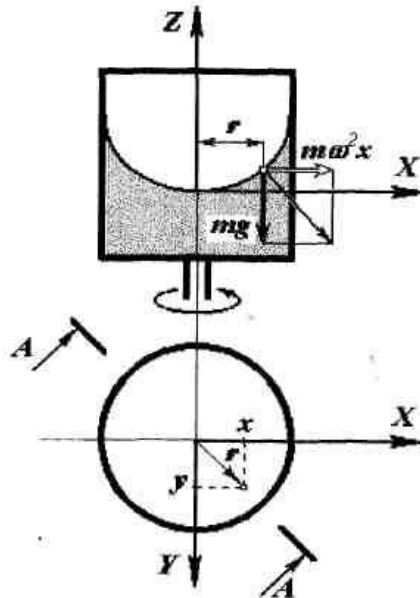


Рис. 2.2 Обертання рідини з посудиною

Завдяки силам тертя стінки посудини, що обертається, захоплюють за собою рідину. Через деякий час вся рідина почне обертатися разом з посудиною з кутовою швидкістю ω , при цьому рідина по відношенню до стінок посудини знаходиться у стані спокою.

У даному випадку на рідину крім об'ємних сил тяжіння, діють ще інші об'ємні сили – відцентрові сили інерції.

Якщо осі координат будуть розташовані як показано на рисунку 2.2, то по відношенню до них рідина також буде знаходитись у стані спокою. Тому для дослідження рідини, що обертається, при зазначених рухомих осях координат, можна використати диференціальне рівняння Ейлера:

$$dp = (Xdx + Ydy + Zdz)$$

Оскільки тиск на поверхні рідини однаковий (посудина відкрита, поверхневий тиск дорівнює атмосферному), то $p(x,y,z)=const$, тоді $dp=0$.

Отже, на підставі рівняння Ейлера, при умові $dp=0$, можна стверджувати, що:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0.$$

Як правило початок координат вибирають у точці перетину вільної поверхні рідини із віссю посудини. Тоді проекції сили одиничної маси на осі координат:

$$X=\omega^2 x, Y=\omega^2 y, Z=-g.$$

Підставивши ці значень у попереднє рівняння, отримаєм:

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0.$$

Після інтегрування дане рівняння набуває вигляду:

$$\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz = C$$

$$\frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) - gz = C$$

Для початку координат $x=0, y=0, z=0$, тоді $C=0$. Оскільки $x^2 + y^2 = r^2$, (де r – відстань від осі до точки, яка розглядається), то рівняння вільної поверхні рідини, що обертається має вигляд

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}, \text{ де } \omega = 2\pi n \text{ (рад/с)}.$$

Отже, в даному випадку, вільна поверхня рідини являє собою параболоїд обертання.

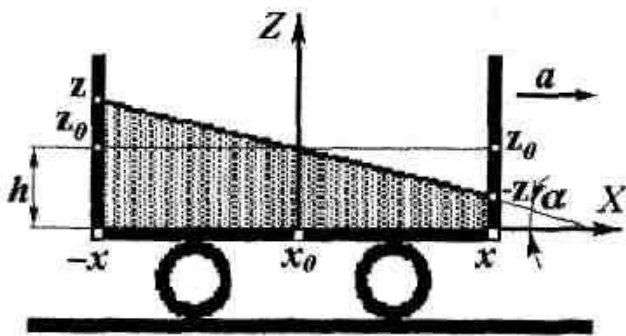


Рис.2.3 Рівноприскорений рух посудини з рідиною

Розглянемо випадок, коли рідина рухається разом з посудиною із деяким прискоренням (Рис 2.3).

Припустимо, що цистерна наповнена рідиною з густиною ρ рухається з прискоренням a . При цьому виникає сила інерції. Кожна частинка рідини в цистерні, в тому числі і на поверхні рідини, зазнаватиме дії прискорення вільного падіння $Z = -g$ та сил інерції $X = a$, а $Y = 0$.

Тоді рівняння вільної поверхні рідини для даного випадку матиме вигляд:

$$adx - g dz = 0$$

Після інтегрування отримаємо

$$ax - gz = C$$

Постійну інтегрування знаходимо виходячи з граничної умови $z = h$ та $x = 0$, тоді $C = -gh$. Відповідно $ax + gz = gh$, звідси

$$z = h \frac{a}{g} x$$

Це рівняння поверхні однакового тиску, або рівняння площини, кут нахилу якої до горизонту визначають із виразу $\tan \alpha = a / g$.

Порядок виконання роботи

1. За вказівкою викладача у звітну таблицю 2.1 записати:

- горизонтальну координату (r);
- величину струму у колі при певній частоті обертання(n).

2. Згідно тарифовочної таблиці 2.3, за величиною струму у колі установки визначити частоту обертання. Встановлені дані записати в звітну таблицю 2.1.

3. Перевірити стан готовності установки до виконання роботи:

- тумблер 10 електроживлення установки встановити в положення «Виключено»;
- шнур електроживлення включити в мережу напругою 220 В;
- регулятор 11 частоти обертання посудини, встановити на мінімум.

4. Виміряти вертикальну координату точок вільної поверхні рідини при частоті обертання рівній нулю (n_0). Результати вимірювань занести до звітної таблиці 2.1.

5. Тумблер 10 встановити в положення «Включено». Про підключення установки свідчить загорання сигнальної лампи 9 на передній панелі установки.

6. Регулятором 11 швидкості обертання двигуна встановити задану величину струму у колі (відповідно частоту обертання – n_1, n_2, n_3).

7. Виміряти вертикальну координату точок вільної поверхні рідини при відповідних частотах обертання. Результати вимірювань занести до звітної таблиці 1.

8. Регулятор 11, частоти обертання посудини, встановити на мінімум.

9. Тумблер 10, електроживлення установки, встановити в положення «Виключено».

10. Відключити шнур електроживлення від мережі напругою 220 В.

11.Результати вимірювань, які відповідають найбільшій частоті обертання (n_3), занести до звітної таблиці 2.2 і виконати необхідні розрахунки.

12. На основі отриманих даних побудуйте графік поверхні

рідини, яка обертається. На цьому ж графіку побудуйте параболу, яка відображає поверхню рідини при теоретичних розрахунках, встановіть відносну похибку.

Таблиця 1 (звітна).

№	Величина струму, мА	Частота обертання n , об/хв		Горизонтальна координата точки вільної поверхні рідини r , см							
				r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7
				0							7,5
				Вертикальна координата точки вільної поверхні рідини $z_{\text{докл}}$, см							
				z_0	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
1	0	n_0	0								
2		n_1									
3		n_2									
4		n_3									

Таблиця 2(звітна)

Частота обертання		n_3 об/хв		n_3 об/с	
Кутова швидкість		ω , рад/с			
Горизонтальна координата r , см		Вертикальна координата точки вільної поверхні рідини $z_{\text{докл}}$, см			
		$Z_{\text{докл.}}$ (3 табл.1)	$z'_{\text{докл.}}= z_0-z_n $	$Z_{\text{теор.}}$	z %
r_0	0	z_0		0	0
$r1$		z_1			
$r2$		z_2			
$r3$		z_3			
$r4$		z_4			
$r5$		z_5			
$r6$		z_6			
$r7$		z_7			

$$\text{Відносна похибка: } z\% = \frac{z_{\text{докл.}} - z'_{\text{докл.}}}{z'_{\text{докл.}}} \cdot 100\%$$

Таблиця 2.3 (тарировочна)

Покази	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	3	3
--------	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---

міліампер-метра														
Частота обертання n , об/хв	41	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79
Покази міліампер-метра	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	
Частота обертання n , об/хв	81	84	87	90	93	96	99	102	105	108	111	114	117	

Питання для самоконтролю

1. Порівняйте сили, які діють на рідину в посудині, що обертається та посудині, яка знаходиться в стані спокою.
2. Яку роль відіграють сили тертя при переході рідини з стану абсолютного спокою у стан відносного спокою при обертанні?
3. Виведіть рівняння вільної поверхні рідини, яка знаходиться в посудині, що обертається.
4. Виведіть рівняння вільної поверхні рідини, якщо посудина рухається рівноприскорено.
5. Порівняйте між собою поверхні однакового тиску в посудині, що обертається рівноприскорено та посудині, яка знаходиться в стані спокою.

Завдання до роботи

1. Користуючись літературою, з'ясуйте теоретичні питання теми лабораторної роботи та дайте відповіді на питання для самоконтролю.
2. Розв'яжіть задачі.
3. Ознайомтесь з будовою та принципом роботи лабораторної установки ГД-2.
4. Намалюйте загальний вигляд та кінематичну схему лабораторної установки ГД-2.
5. Накресліть звітні таблиці 2.1, 2.2 і тарифовочну таблицю

2.3.

6. Проведіть вимірювання згідно порядку виконання роботи.

7. В одній системі координат (r, z) побудуйте дослідні криві вільної поверхні рідини, що рівномірно обертається: $Z_{n0}=f(r)$; $Z_{n1}=f(r)$; $Z_{n2}=f(r)$; $Z_{n3}=f(r)$;

8. В одній системі координат (r, z) побудуйте теоретичну і дослідну криву, що відповідає частоті обертання n_3 : $z_{\text{теор.}}=f(r)$; $z'_{\text{досл.}}=f(r)$, та знайдіть похибку.

9. Складіть звіт про роботу.

Завдання для самостійної роботи

При розв'язанні задач на відносний спокій рідин треба враховувати дію двох масових сил: сили ваги і силу інерції переносного руху – і використовувати основну властивість поверхні рівня, в тому числі вільної поверхні рідини. Положення вільної поверхні в посудині при заданій кутовій швидкості обертання визначається об'ємом рідини в посудині. При цьому використовують формулу об'єму параболоїда обертання

$$V = \frac{1}{2} \pi R^2 H,$$

де R – радіус основи параболоїда; H – висота.

При розв'язанні багатьох задач, пов'язаних з відносним спокоєм рідини користуються диференціальним рівнянням поверхні рівного тиску

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0,$$

де X, Y і Z – проекції сили одиничної маси на осі координат X, Y, Z .

При підготовці до лабораторної роботи розв'яжіть задачі 1, 2, 3, і 4.

Задача 1

В посудину висотою $H = 0,3$ м залита рідина до рівня $H = 0,2$ м. Визначити, до якої кутової швидкості ω можна розкрутити посудину, з тим щоб рідина не виливалась з неї, якщо діаметр її $D = 100$ мм.

Задача 2

Циліндрична посудина діаметром $D = 80$ мм обертається на вертикальній осі діаметром $d = 30$ мм. Визначити мінімальну кутову швидкість ω , при якій рідина не буде доторкуватись до вала, якщо спочатку посудина була заповнена до рівня $h = 0,05$ м.

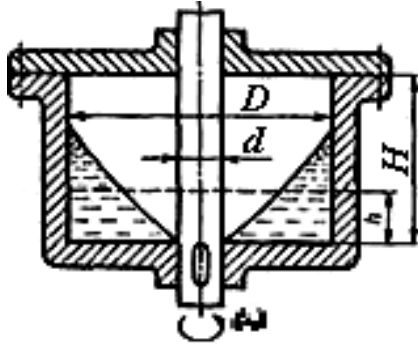


Рис. 2.4 Рисунок до задачі 2

Задача 3

Визначити розташування центра ваги C бетонного розчину (h_c і l_c), який залитий в закритий кузов автомобіля (рис. 2.5) при його гальмуванні з прискоренням $a = g$. Вважати, що кузов має форму паралелепіпеда: $L = 1,92$ м, $H = 1,2$ м і $h = 1$

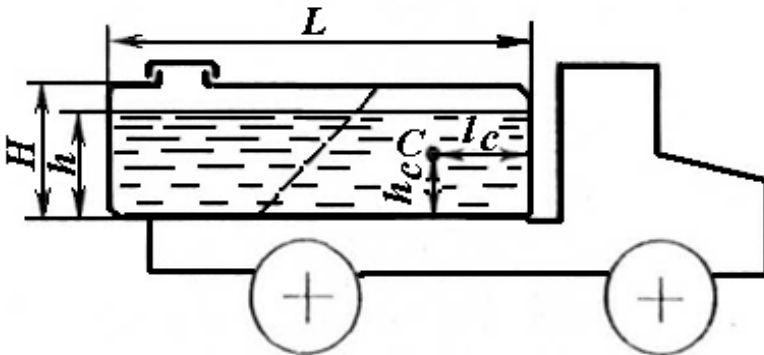


Рис. 2.5 Рисунок до задачі 3

Задача 4

В кузов автомобіля-самоскида до рівня $h = 0,4$ м налитий цементний розчин. Визначити найменший допустимий шлях гальмування самоскида від швидкості $v = 36$ км/год до зупинки при умові, що розчин не вилитиметься з кузова. Для спрощення прийняти, що кузов самоскида має форму прямокутної коробки розмірами $l = 2,5$ м; $h = 0,8$ м; ширина кузова $b = 1,8$ мм, а рух автомобіля при гальмуванні рівносповільнений.

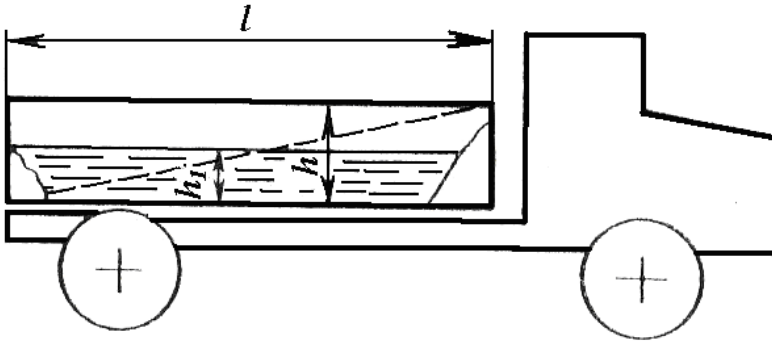


Рис. 2.6 Рисунок до задачі 4

ЛІТЕРАТУРА

Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с. 133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і

матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота №3 **ВИВЧЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ РІДИНИ**

Мета роботи: Ознайомитись з режимами руху рідини та навчитись визначати число Рейнольдса.

При виконанні роботи треба отримати такі знання та уміння:

Знання:

- режими руху рідини;
- сутність числа Рейнольдса.

Уміння:

- користуючись установкою типу ГД-4;
- визначати критерії Рейнольдса, які відповідають встановленим режимам руху рідини.

Обладнання та інструменти: Лабораторна установка типу ГД-4, лабораторний термометр, секундомір.

Короткі теоретичні відомості

Дослідження показали, що рідина, в залежності від умов, може рухатись або в ламінарному, або в турбулентному режимі.

Ламінарний – це такий режим, при якому частинки рідини переміщаються окремими струминками, шарами, траєкторії яких не перетинаються (від лат «lamina» – пластинка, полоска).

Турбулентний – це такий режим, при якому спостерігається завихрення струминок, шари рідини постійно змішуються між собою.

Перехід від одного режиму до іншого залежить від умов руху рідини – швидкості переміщення, в'язкості, діаметру труби, її шорсткості.

Для характеристики режиму руху рідини О. Рейнольдсом був введений параметр Re , який враховує перелічені вище фактори. Він отримав назву *число Рейнольдса*:

$$R_e = \frac{\nu \cdot d}{\nu},$$

де ν – середня швидкість потоку, м/с;

d – діаметр труби, м;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Для труби повністю заповненої рідиною замість R беруть внутрішній діаметр труби d .

Середня швидкість потоку ν визначається з рівняння неперервності руху рідини:

$$Q = \nu S$$

$$\nu = \frac{Q}{S},$$

де Q – витрата рідини за одиницю часу.

Значення числа Рейнольдса при якому ламінарний рух рідини переходить в турбулентний називають критичним, $Re_{кр}$. Як показали дослідження $Re_{кр} = 2300$. Однак складність врахування всіх факторів, які впливають на рухому рідину, зумовлює певні відхилення від зазначеного $Re_{кр}$ – воно може коливатися від 2000 до 12000. Проте при розрахунках зазвичай користуються $Re_{кр} = 2300$.

Якщо переріз потоку рідини не круглий, то $Re_{кр}$ знаходять користуючись величиною, яка називається гідравлічним радіусом R .

Гідравлічний радіус визначається як співвідношення площі живого перерізу потоку S до змоченого периметру χ :

$$R = \frac{S}{\chi}$$

Так для труби

$$R = \frac{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\pi \cdot d} = \frac{d}{4}.$$

Тоді $d = 4R$, а

$$Re = \frac{\nu \cdot d}{\nu} = \frac{4\nu R}{\nu}.$$

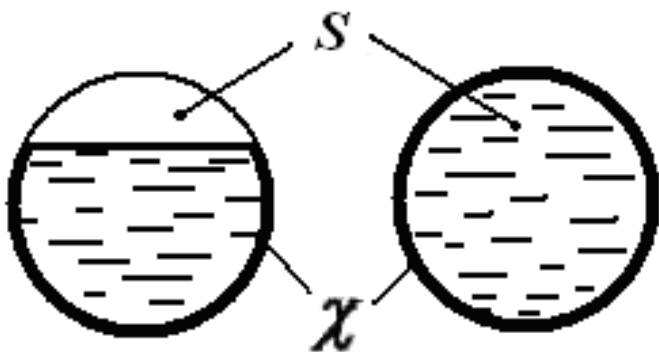


Рис.3.1

Режими руху рідини можна спостерігати на дослідах. При невеликих швидкостях потоку підфарбована рідина рухається чітко виділеними струминками, не змішуючись з потоком не підфарбованої рідини. При підвищенні швидкості течії підфарбована струминка починає коливатися і приймає кривоподібний вигляд. Потім на окремих її ділянках починають з'являтися розриви. Струминка втрачає чітку форму і при певній швидкості потоку повністю розривається – окремі частинки фарби перемішуються, підфарбовуючи всю рідину. Траєкторія руху частинок стає завихреною.

Будова лабораторної установки

Установка типу ГД-4 (прилад Рейнольдса, рис. 3.2) призначена для вивчення режимів руху рідини. Дана установка складається з напірного бака 9, бака з фарбою 8, скляного трубопроводу 4, кожуху, мірного бака 12, та органів керування 1, 2, 7, 11.

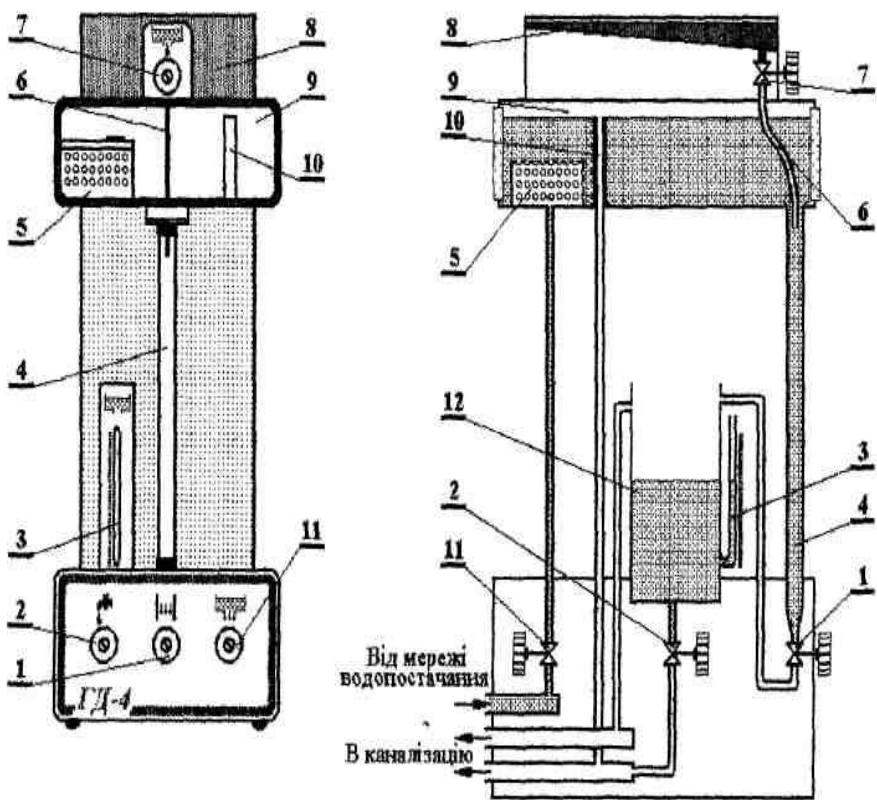


Рис. 3.2. Загальний вигляд та гідравлічна схема лабораторної установки ГД-4.

Напірний бак 9 являє собою замкнений об'єм, частково заповнений водою. Візуальний огляд рівня води в напірному баці 9 здійснюється крізь оглядове вікно. По напірному трубопроводу від водопровідної мережі вода поступає спочатку у заспокоювач 5, з якого крізь перфоровану перегородку виливається у головну частину бака. Рівень води напірного бака 9 підтримується завдяки патрубку холостого зливу 10, який з'єднаний із зливним трубопроводом.

До напірного бака приєднаний резервуар з фарбою 8, зверху закритий кришкою. Фарба (водяний розчин перманганату калію) з резервуара 8 по тонкій трубці 6 поступає у скляну трубку.

Вона призначена для візуального спостереження за рухом рідини і має Ø 22,5 і товщину 3 мм.

Всередині установки розміщується мірний бак 12. На передню панель стінки кожуха виведений показчик рівня 3, за шкалою якого ведеться відлік величини об'єму води в мірному баці 12.

Органи керування установкою розташовані на передній панелі і являють собою ручки відповідних кранів 1,2,7,11. Поворотом ручки - 7 проти годинникової стрілки забезпечується надходження фарби у скляний трубопровід. Кран - 11 призначений для відкриття каналу по якому здійснюється надходження води у напірний бак 9. За допомогою крана - 1 регулюється швидкість руху рідини у скляному трубопроводі 4. Наповнення та злив води 3 мірного баку 12 здійснюється поворотом рукоятки крана - 2.

Порядок виконання роботи

1. Згідно відомостей про установку ГД-4 у звітну таблицю записати діаметр живого перерізу потоку (внутрішній діаметр скляного трубопроводу).

2. Перевірити стан готовності установки до виконання роботи:

- кран 11, наповнення водою напірного баку 9, в положенні – «Закрито»;
- кран ,регулювання швидкості потоку рідини 1, в положенні – «Закрито»;
- кран 7, надходження фарби до скляного трубопроводу 4, в

положенні – «Закрито»;

- кран 2, зливу рідини з мірного баку 12, в положенні – «Відкрито».

3. За допомогою шнура електроживлення підключити освітлення установки до мережі напругою 220 В.

4. Підключити установку до визначеної мережі (ручкою водогінної мережі зробити 1,5 + 2 оберти).

5. Обертами маховика крану 11 забезпечити наповнення напірного бака 9 так, щоб робоча рідина витікала через патрубок холостого зливу 10.

6. За допомогою лабораторного термометра провести вимірювання температури рідини напірного бака 9 результати вимірювань записати у звітну таблицю 3.1.

7. Дещо відкрити кран регулювання швидкості потоку рідини 1.

8. Відкрити кран регулювання кількості фарби 7, яка поступає до скляної трубки 4. Досягти умови: швидкість руху фарби співпадає з швидкістю руху потоку рідини (нерозривна струминка фарби у потоці води свідчить про наявність ламінарного режиму руху рідини у скляній трубці).

9. З метою економії фарби закрити кран 7, який дозує її надходження до скляної трубки 4.

10. На шкалі 3 мірного бака 12 вибрати позначку початку відліку (над рівнем рідини мірного бака) і згідно тарифовочного графіку 1 записати значення початкового об'єму у звітну таблицю 3.1.

11. На шкалі 3 мірного бака 12 вибрати позначку закінчення відліку (над позначкою початку відліку) і згідно тарифовочного графіку 1 записати значення кінцевого об'єму у звітну таблицю 3.1.

12. Закрити кран 2 зливу рідини з мірного бака 12.

13. За допомогою секундоміра виміряти час переміщення рівня рідини від «початкової» до «кінцевої» позначки шкали мірного баку. Отримані дані записати у звітну таблицю 1.

Увага! Якщо рівень рідини по шкалі 3 мірного бака підніміться вище позначки «17,5 см», то необхідно негайно

відкрити кран 2 зливу рідини з мірного бака.

14. Відкрити кран 2 зливу рідини з мірного бака 12.

15. Відкрити кран регулювання кількості фарби 7, яка поступає до скляної трубки 4. Досягти умови: швидкість руху фарби співпадає з швидкістю руху потоку рідини, (нерозривна струминка фарби у потоці води свідчить про наявність ламінарного режиму руху рідини у скляній трубці).

16. Поступово відкривати кран 1, врегулювання швидкості потоку, так щоб струминка фарби набула коливного характеру руху без розривів. Таке поводження струминки відповідає стану потоку при якому ламінарний режим переходить у турбулентний.

17. Провести вимірювання згідно пунктів 9 -14.

18. Відкрити кран 7 регулювання кількості фарби, яка поступає до скляної трубки 4.

19. Повністю відкрити кран 1 регулювання швидкості потоку рідини, при цьому струминка фарби повністю розмивається (вода стає рівномірно підфарбованою). Такий стан потоку відповідає турбулентному режиму руху рідини.

20. Провести вимірювання згідно пунктів 9 - 14.

21. Відкрити кран 7 регулювання кількості фарби, яка поступає до скляної трубки.

22. Поступово закривати кран регулювання швидкості потоку 1, так щоб струминка фарби набула прямолінійного характеру руху без розривів (ламінарний режим). Таке поводження струминки відповідає стану потоку, при якому турбулентний режим переходить у ламінарний.

23. Провести вимірювання згідно пунктів 9-14.

24. Закрити кран 11 наповнення напірного баку 12.

25. Закрити кран надходження води від водогінної мережі.

26. Відключити установку від електричної мережі.

27. Провести необхідні обчислення згідно таблиці 3.1.

Питання для самоконтролю

1. Дайте характеристику ламінарному та турбулентному режимам руху рідини.

2. Що називається числом Рейнольдса?
3. Яке існує співвідношення між числом Рейнольдса і діаметром трубки та числом Рейнольдса і гідравлічним радіусом для напірного потоку в трубі?
4. Як впливає на кінематичний коефіцієнт в'язкості та на число Рейнольдса зміна температури води?
5. Що називається верхнім та нижнім критичним числом Рейнольдса та від чого залежить їх значення?

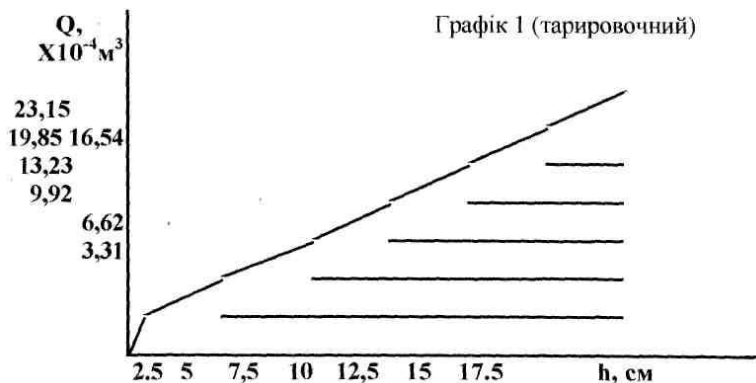
Завдання до роботи

1. Користуючись літературою, з'ясуйте теоретичні питання теми лабораторної роботи та дайте відповіді на питання для самоконтролю.
2. Ознайомтесь з будовою та принципом роботи лабораторної установки ГД-4.
3. Намалюйте загальний вигляд та гідравлічну схему лабораторної установки ГД-4.
4. Накресліть звітні таблиці № 3.1 і тарировочний графік №1.
5. Проведіть вимірювання згідно порядку виконання роботи.
6. Побудуйте графік залежності $Re = f(\vartheta)$
7. Складіть звіт про роботу.

Таблиця 3.1 (Звітна)

№	Назва величини	Позначення (формула для обчислення)	Одиниці вимірювань	Характер руху рідини			
				Ламінарний (Л)	Перехідний (Л→Т)	Турбулентний (Т)	Перехідний (Т→Л)
1	Діаметр скляного трубопроводу	d	м				
2	Температура води	t	°C				

3	Початковий об'єм	Q_1	м^3				
4	Кінцевий об'єм	Q_2	м^3				
5	Об'єм	$Q'_1 = Q_2 - Q_1$	м^3				
6	Час наповнення мірного баку	τ	с				
7	Витрати рідини	$Q = Q'/\tau$	$\text{м}^3/\text{с}$				
8	Площа живого перерізу трубопроводу	$S = \pi d^2/4$	м^2				
9	Середня швидкість потoku	$v = Q/S$	$\text{м}/\text{с}$				
10	Кінематичний коефіцієнт в'язкості	ν	$\text{м}^2/\text{с}$				
11	Число Рейнольдса	$Re = v d/\nu$	-				



Завдання для самостійної роботи

Вивчення режимів руху рідини є важливим для розуміння всіх розділів гідродинаміки. Особливо, що стосується розрахунку трубопроводів. Характер руху рідини визначається числом Рейнольдса. Критичне число Рейнольдса ($R_{кр} \approx 2300$) визначає межу між ламінарним і турбулентним рухом рідини. Проте цим не обмежується його значення, особливо для

турбулентного руху.

При розв'язуванні задач даної тематики варто пам'ятати, що при ламінарному русі середня швидкість потоку дорівнює половині максимальної, а коефіцієнт Коріоліса дорівнює 2. Також треба враховувати, що втрати напору на тертя пропорційні енергії швидкості рідини і довжині труби.

При турбулентному русі енергія рідини витрачається:

- 1) на подолання сил внутрішнього тертя між сусідніми шарами потоку внаслідок різної швидкості руху;
- 2) на процес переміщення мас рідини, при якому виникають додаткові сили тертя. Із збільшенням турбулентності потоку процес переміщення інтенсифікується і витрати енергії відповідно збільшуються.

При з'ясуванні режиму руху рідини варто ретельно розібратись в результатах дослідів Нікурадзе, особливо що стосується квадратичної області опору.

Режим руху рідини дуже залежить від шорсткості внутрішньої поверхні труб, по яким вона тече. Розрізняють гідравлічно гладкі та шорсткі труби. При розв'язанні задач, в яких йдеться про гідравлічно гладкі труби, труднощі не виникають. Проте при використанні шорстких труб вони значні. Тому з'ясуйте, по-перше, як шорсткість впливає на режим руху рідини, по-друге, які формули використовуються при розв'язанні задач з технічними трубами (різностінна шорсткість), напірними гладкими, шовними, безшовними, стальними, пластмасовими тощо.

При підготовці до лабораторної роботи зробіть аналіз розв'язку задач 1, 2, 3 і 4.

Задача 1

Визначити гідравлічний радіус трапецеїдального каналу, якщо ширина каналу по дну $b = 8$ м, глибина води в каналі $h = 25$ м, коефіцієнт заложення відкосів $m = \operatorname{ctg} \theta = 1,5$, де θ – кут нахилу відкосів до горизонту (Рис.3.3).

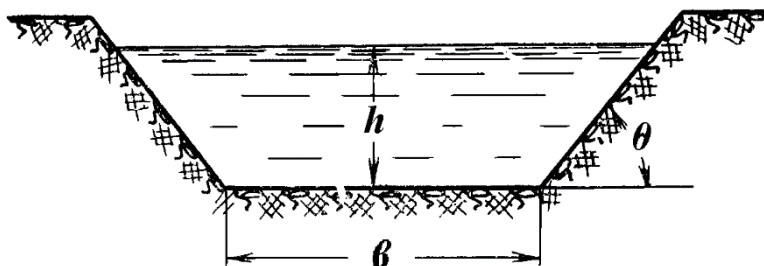


Рис.3.3 Рисунок до задачі 1

Розв'язання. Площа трапецеїдального живого перетину каналу

$$S = (b + mh) h = (8 + 1,5 \cdot 2,5) = 29,4 \text{ м}^2.$$

Змочений периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 8 + 2 \cdot 2,5 \sqrt{1 + 1,5^2} = 17,02 \text{ м.}$$

Гідравлічний радіус

$$R = \frac{S}{\chi} = \frac{29,4}{17,02} = 1,73 \text{ м}$$

Задача 2

Визначити витрати у водопровідній трубі, якщо середня швидкість $\vartheta = 1,1 \text{ м/с}$, а діаметр труби $d = 300 \text{ мм}$.

Розв'язання. Витрати визначимо за формулою

$$Q = S\vartheta = \frac{\pi d^2}{4} \vartheta = 0,785 d^2 \vartheta = 0,785 \cdot 0,3^2 \cdot 1,1 = 0,0778 \text{ м}^3/\text{с} = 77,8 \text{ л/с}$$

Задача 3

Визначити діаметр трубопроводу, по якому протікає $500 \text{ м}^3/\text{год}$ води з середньою швидкістю $1,5 \text{ м/с}$.

Розв'язання. Спочатку знайдемо витрати

$$Q = \frac{500}{3600} = 0,139 \text{ м}^3/\text{с.}$$

З формули

$$S = 0,785 d^2 = \frac{Q}{v}$$

знайдемо

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,139}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,345 \text{ м.}$$

Задача 4

Визначити режим руху води в трубі діаметром $d = 0,3$ м при середній швидкості $v = 1,2$ м/с і кінематичній в'язкості $\nu = 0,01$ Ст ($t = 20^\circ\text{C}$)

Розв'язання. Знаходимо число Рейнольдса, для цього в формулу підставляємо всі величини в одній системі одиниць ($v = 120$ м/с, $d = 30$ см, $\nu = 0,01$ Ст):

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{120 \cdot 130}{0,01} = 360000.$$

Оскільки $360000 > 2320$, $Re > Re_{кр}$, то має місце турбулентний режим.

Задача 5

В трубі, що розширюється має місце напірний рух рідини, при цьому середні швидкості в першому і другому перерізах дорівнюють $1,6$ і $0,9$ м/с відповідно; діаметр труби в першому перерізі $d_1 = 0,5$ м. Визначити діаметр труби в другому перерізі.

Задача 6

Визначити режим руху води в каналі з гідравлічним радіусом $R = 1,2$ м, при середній швидкості $v = 0,8$ м/с і температурі води 15°C ($\nu = 0,0114$ Ст).

ЛІТЕРАТУРА

Афтандіянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ

Мета роботи: В процесі виконання лабораторної роботи треба отримати такі знання та уміння:

Знання:

- про фізичну суть рівняння Бернуллі: (залежність між параметрами, що входять у рівняння, енергетичний зміст тощо);
- умови застосування рівняння Бернуллі.

Уміння:

- визначати на установці величини, що входять у рівняння (z , P , ϑ , α , h_l , h_m);
- вести підрахунки у вибраній системі одиниць;
- користуватись дослідною установкою.

Обладнання та інструменти: гідравлічна установка ГД-5.

Короткі теоретичні відомості

Загальний вигляд рівняння Бернуллі для струминки

ідеальної рідини такий:

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const} \quad (1)$$

де, z – значення координати розташування осі потоку рідини.

P – тиск у рідині у перетині потоку.

v – швидкість рідини у даному перетині потоку.

Фактично це рівняння є законом збереження енергії в потоці рідини. Дійсно, якщо рівняння помножити на mg , то перший його член є потенціальною енергією рідини на висоті z . Другий член виражає питому енергію тиску. Третій – кінетичну енергію рідини.

В сумі всі члени рівняння є напором рідини і його позначають буквою H .

Якщо не враховувати втрати напору по довжині труби і на місцевих опорах, то ця сума повинна бути постійною в будь-якому перетині потоку рідини. Тоді рівняння Бернуллі записують так:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H$$

Якщо ж рідина буде реальною і переміщатиметься потоком, то в рівняння треба ввести поправки. По-перше, в значення v , оскільки воно буде не однаковим по перетину (змінюється за параболічним законом). Ця поправка позначається буквою α і називається коефіцієнтом Коріоліса. По-друге, в реальній рідині є втрати напору (енергії) при її русі. Рідина рухається шарами між якими виникає тертя (за рахунок сил міжмолекулярного зчеплення). Крім того виникають втрати напору на місцевих опорах тому, їх теж треба враховувати.

Отже, рівняння Бернуллі матиме такий вигляд:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + W_h,$$

де

$$W_h = h_l + h_m$$

Оскільки коефіцієнт α близький до одиниці (1,03-1,1), труба в дослідній установці невеликої довжини (близько 1,5 см), місцеві опори відсутні, то з невеликою похибкою можна записати рівняння Бернуллі так:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Достовірність цього рівняння треба перевірити, користуючись установкою зображено на рисунку 4.1.

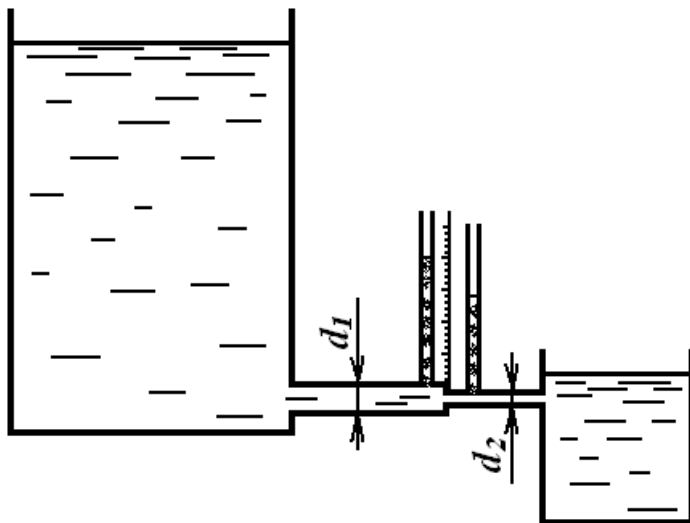


Рис. 4.1 Схема лабораторної установки

З лабораторної установки видно, що $z_1 = z_2$, тоді рівняння Бернуллі перепишеться так $\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$, або $\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$.

$$\text{Оскільки } \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h, \text{ то й } \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = h$$

$$\text{Скориставшись рівнянням неперервності потоку } v_1 S_1 = v_2 S_2$$

виразимо v_1 через v_2 ,

$$\text{Тоді } h = \frac{v_2^2 - v_2^2 \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} \left(1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right),$$

$$\text{Звідки } v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}} = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}}$$

$$\text{Оскільки } Q = v_2 S_2, \text{ то } Q = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}} \quad (2)$$

де Q — витрата рідини;

d_1 — діаметр більшої трубки;

d_2 — діаметр меншої трубки;

h — різниця рівнів рідини в п'єзометрі.

Отже, якщо цей вираз в ході експерименту підтвердиться, то справедливим є й рівняння Бернуллі. Звичайно в процесі виводу цього виразу не враховані коефіцієнт α (Коріоліса) та деякі втрати напору при переході рідиною через звуження трубопроводу тощо. Тому буде незначна розбіжність між лівою і правою частинами отриманого виразу.

При виконанні роботи треба враховувати наступне: витрату рідини знаходять за виразом:

$$Q = \frac{Q_1}{t},$$

де Q_1 — об'єм рідини, яка витекла в мірний бак за час t ;

діаметр товщої трубки — $d_2 = 21\text{мм}$, а $d_1 = 8\text{мм}$.

Хід роботи

1. Наповнити основний бак водою, і добитись усталеного руху її в трубопроводі.
2. На лінійці мірного баку зафіксувати початковий рівень води і включити секундомір. Через 3-4 хвилини зафіксувати рівень води у мірному баку, зняти покази h і виключити секундомір.
3. Провести підрахунок, підставивши дані у формулу (2). Дані експерименту занести у звітну таблицю.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає енергетичний зміст рівняння Бернуллі?
2. Що називають живим перетином потоку?
3. В якому випадку живий переріз потоку збігається з поперечним перерізом труби?
4. Який рух рідини називають напірним?
5. Як записують рівняння нерозривності потоку?
6. Для чого потрібно, щоб напір H на установці був постійним протягом усього досліду?
7. Що таке п'єзометрична і напірна лінії?

Звіт про роботу

Таблиця 4.1 Дані експерименту

Перетин	Q_1	h	d_1	d_2	t	Q

Завдання для самостійної роботи

При розв'язанні задач про рух рідини часто припускають, що рідина є ідеальною (абсолютно не стискується, не здатна протистояти розтягу і зсуву, і позбавлена властивості випаровуватись). Головне чим відрізняється ідеальна рідина від реальної це відсутність у неї в'язкості. Тобто в рухомій рідині

можливий лише один вид напруги – стиснення.

Основними рівняннями, які дають можливість розв'язувати задачі про рух ідеальної рідини, є рівняння

витрати рідини ($Q = \vartheta S$) і рівняння Бернуллі

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\vartheta^2}{2g} = \text{const.}$$

Рівняння витрати виражає умову неперервності (суцільності) потоку нестискуючої рідини, або, що те саме, рівність об'ємних витрат в будь-яких двох поперечних перетинах одного і того ж потоку, наприклад 1 і 2, тобто $Q_1 = Q_2$ або $\vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2$. Звідки

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Для двох перетинів рівняння Бернуллі записується так:

$$Z_1 + \frac{P}{\rho g} + \frac{\vartheta_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} = H$$

При використанні рівняння Бернуллі для розв'язання задач треба дотримуватись таких умов:

- 1) витрата рідини між перетинами 1 і 2 повинна бути постійною;
- 2) рух рідини повинен бути усталеним;
- 3) рух рідини в перетинах 1 і 2, що з'єднується рівнянням Бернуллі, повинен бути паралельно-струмінним або плавно змінним; в проміжку між перетинами рух рідини може бути і рівнозмінним.

Рівняння Бернуллі для потоку рідини виражає собою закон збереження руху рідини вздовж потоку.

Якщо енергію рідини віднести до одиниці об'єму, то складові рівняння Бернуллі будуть мати розмірність тиску, а саме рівняння прийме такий вигляд:

$$z_1 \rho g + p_1 + \rho \frac{\vartheta_1^2}{2g} = z_2 \rho g + p_2 + \rho \frac{\vartheta_2^2}{2g} = H \rho g.$$

Якщо ж енергію рідини віднести до одиниці маси, то можна отримати третю формулу запису рівняння:

$$Z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = Z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}.$$

Для потоку реальної рідини (в'язкої) рівняння Бернуллі матиме такий вигляд:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \Sigma h,$$

де α – коефіцієнт Коріоліса, який враховує нерівномірність розподілу швидкості по перетину і дорівнює відношенню дійсної кінетичної енергії потоку до кінетичної того ж потоку, але при рівномірному розподілу швидкостей;

Σh – сумарна втрата повного напору між перетинами 1 і 2, обумовлена в'язкістю рідини.

Розрізняють два види гідравлічних втрат напору: по довжині труби і на місцевих опорах.

Втрати напору по довжині потоку визначають за формулою Дарсі:

$$h_l = \lambda \frac{l v^2}{2g}.$$

Коефіцієнт опору λ визначають в залежності від режиму руху рідини:

- при ламінарному за формулою

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

- при турбулентному режимі

$$\lambda = f(Re, \Delta/d).$$

Розподіл швидкостей по поперечному перетину круглої труби радіусом r при ламінарному русі виражається параболічним законом

$$v = \frac{h_e}{4\gamma l} (Z_0^2 - Z^2).$$

Втрати напору на місцевих опорах знаходять за формулою Вейсбаха:

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

де v – середня швидкість рідини перед місцевим опором (при розширенні) або за ним (при звуженні);

ζ – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору.

Числові значення коефіцієнта місцевого опору знаходять за таблицями для відповідного опору.

Таблиця 4.2. Значення коефіцієнта ζ при різкому звуженні

S_2/S_1	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
ζ	0,50	0,45	0,40	0,30	0,22	0,12	0

Таблиця 4.3. Значення коефіцієнта ζ для діафрагми

S_0/S	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	226	47,8	17,5	7,8	3,75	1,8	0,8	0,29	0,06	0,0

Таблиця 4.4 Значення коефіцієнта ζ для крана

α°	5	10	20	30	40	50	60	65	82,5
ζ	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	52,6	206	486	∞

Таблиця 4.5 Значення коефіцієнта ζ для засувки

a/d	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
ζ	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

При підготовці до лабораторної роботи розв'язати задачі 1, 2, 3, 4, і 5.

Задача 1

Визначити за допомогою водоміра Вентурі витрати рідини,

що тече по трубопроводу, якщо діаметр трубопроводу $d_1 = 100$ мм, діаметр горловини $d_2 = 56$ мм, різниця показів п'єзометрів $h = 45$ см. Втратами напору при розрахунку знехтувати.

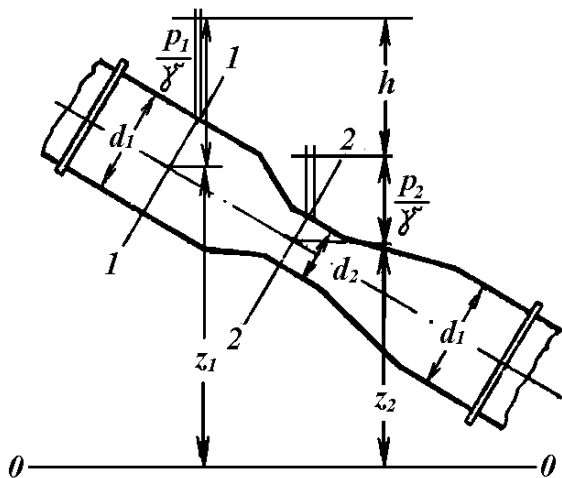


Рис.4.2 Рисунок до задачі 1

Примітка. Водомір Вентурі широко застосовується на практиці. Він складається з двох конічних ділянок, з'єднаних короткою циліндричною вставкою (Рис.4.2). Широкі кінці конічних ділянок мають однакові діаметри, що і трубопровід, на якому встановлюють водомір. В перерізах 1-1 і 2-2 приєднані п'єзометри.

Задача 2

На скільки зміниться швидкісний напір при зменшенні діаметра труби з $d_1 = 0,1$ м, до $d_2 = 0,07$ м, якщо в трубі витрата води $Q = 7,85$ л/с ?

Задача 3

При закритому водозабірному крані манометр показує тиск $p_1 = 0,5$ кгс/см², після того як відкрили кран покази манометра зменшилися до $p_2 = 0,1$ кгс/см². Визначити витрату води, якщо

розміри отвору крана 10×10 мм. Втрати тиску на крані не враховувати.

Задача 4

З напірного бака вода тече по трубі діаметром $d_1 = 20$ мм і потім витікає в атмосферу через насадок (брандспойт) з діаметром вихідного отвору $d_2 = 10$ мм. Надлишковий тиск повітря в баку $p_0 = 0,18$ МПа; висота $H = 1,6$ м. Нехтуючи втратами енергії, визначити швидкості руху води в трубі v_1 і на виході з насадка v_2

Задача 5

Бензин зливається з цистерни по трубі діаметром $d = 50$ мм, на якій встановлений кран з $\zeta = 3$. Визначити витрату бензину при $H_1 = 1,5$ м і $H_2 = 1,3$ м, якщо у верхній частині цистерни має місце вакуум $h_{\text{вак}} = 73,5$ мм рт. ст. Втратами на тертя в трубі нехтувати. Густина бензину $\rho = 750$ кг/м³.

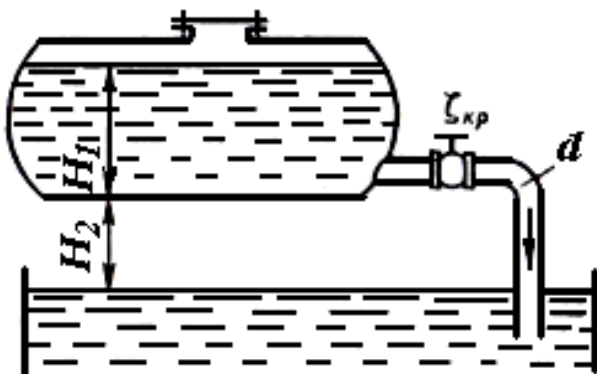


Рис. 4.3 Рисунок до задачі 5

ЛІТЕРАТУРА

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота № 5 **ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ ПО ДОВЖИНІ** **ТРУБОПРОВОДУ**

Мета роботи: Ознайомитись з втратами напору по довжині трубопроводу та навчитись їх визначати. При виконанні роботи треба отримати такі знання та уміння:

Знання:

- сутність втрат напору по довжині трубопроводу.
- методика розв'язування задач з визначення втрат напору по довжині трубопроводу.

Уміння:

- користуватись установкою типу ГД-5.
- визначити гідравлічний коефіцієнт тертя (коеф. Дарсі) та втрати напору по довжині трубопроводу.

Обладнання та інструменти: Лабораторна установка типу ГД-5, лабораторний термометр, секундомір.

Будова лабораторної установки ГД-5.

Установка типу ГД-5 (рис.5.1) призначена для дослідження втрат напору по довжині труби та на місцевому опорі (різке

розширення) трубопроводу.

Лабораторна установка складається із зливного баку 13, напірного баку 6, мірного баку 17, панелі 7 п'єзометричних трубок 8, дослідного трубопроводу 9 та органів керування.

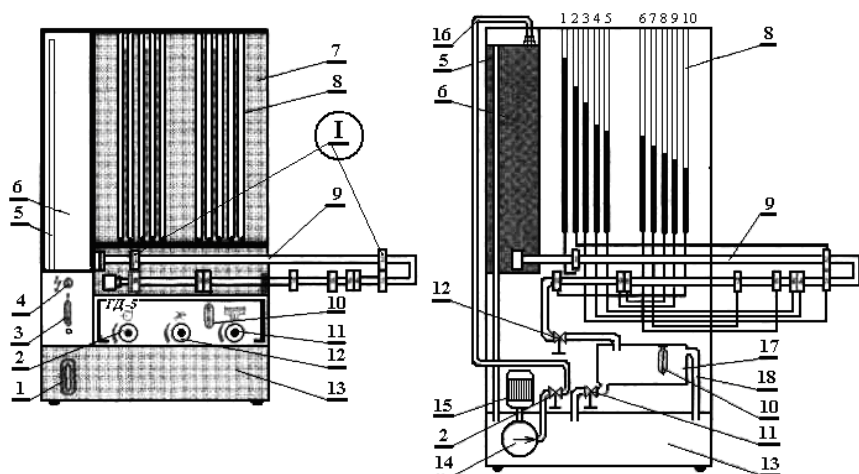


Рис. 5.1 Гідравлічна схема лабораторної установки ГД-5.

I – ділянка для дослідження

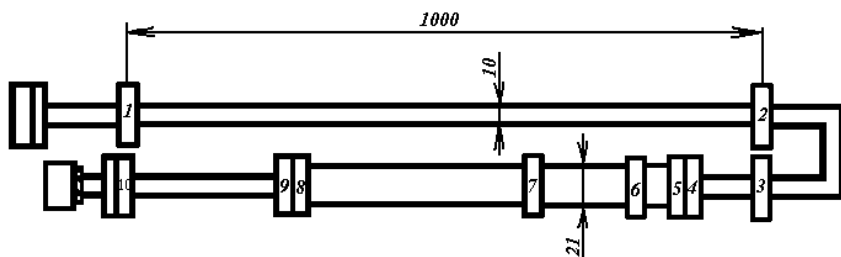


Рис. 5.2 Трубопровід лабораторної установки ГД-5

Конструктивні розміри трубопроводу установки ГД-5

показані на рисунку 5.2. В середині звареного баку 13 розміщений насос 14, який приводиться в обертання електродвигуном 15.

Живлення електродвигуна включається тумблером 3, про наявність електричного струму у колі свідчить загоряння індикаторної лампи 4.

Контроль за рівнем води у зливному баці 13 можна здійснювати через оглядове вікно 1.

Від електронасосу 14, 15 через кран 2 по трубопроводу 16 вода поступає у напірний бак 6 і він заповнюється рідиною. Постійність рівня води у напірному баці 6 забезпечується патрубком холостого сливу 5.

До нижньої частини напірного баку 6 приєднаний дослідний трубопровід 9, на кінці якого встановлений кран 12 регулювання витрат рідини. Через даний кран 12 рідина з дослідного трубопроводу 9 попадає у мірний бак 17.

Мірний бак 17 призначений для вимірювання об'єму рідини, що витікає з дослідного трубопроводу 9, для цього на його боковій поверхні встановлена шкала 10 рівня рідини.

Для сливу та наповнення рідиною мірного баку 17 використовують кран 11. З метою контролю рівня в мірному баці 17, до його верхньої частини приєднана зливна трубка 18.

На передній панелі 7 встановлені десять п'єзометричних трубок 8.

За допомогою п'єзометрів № 1 і № 2 можна виміряти втрати напору по довжині трубопроводу.

П'єзометри № 4 і № 7 використовують для вимірювання втрат напору при різкому розширенні трубопроводу.

Короткі теоретичні відомості

Втрата енергії напору) по довжині h_e при русі в'язкої рідини в напірному трубопроводі визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_1 = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{g^2}{2g},$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя (коеф. Дарсі)

l та d - довжина та діаметр трубопроводу;

ϑ - середня швидкість по перерізу потоку;

g - прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт λ є змінною безрозмірною величиною, яка залежить від ряду характеристик: діаметра d , та шорсткості Δ труби, в'язкості ν та швидкості рідини ϑ .

Вплив даних характеристик на величину λ залежить від режиму руху рідини у трубопроводі.

В одній області опору на величину λ більше впливає швидкість ϑ (Re), в іншій області більше впливають геометричні характеристики: діаметр та шорсткість (висота виступів шорсткості) трубопроводу.

У зв'язку з цим розрізняють чотири області опору при напірному русі в трубах, в яких зміна λ має свою закономірність.

Перша область - ламінарний режим руху рідини.

В цій області λ залежить від швидкості руху рідини і не залежить від величини виступів шорсткості Δ .

В даній області ($Re < 2320$), λ можна визначити за формулою Пуазеля:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \text{ де } Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Решта областей опору знаходиться у зоні турбулентного режиму із різною ступеню турбулентності.

Як показали дослідження Л. Прандля в турбулентному потоці швидкість руху рідинних частинок рідини біля стінок трубопроводу наближається до нуля. У відповідності з цим прийнято вважати, що поблизу стінок є тонкий шар рідини завтовшки δ , де швидкості настільки малі, що у межах цього шару, рух рідини наближається до ламінарного.

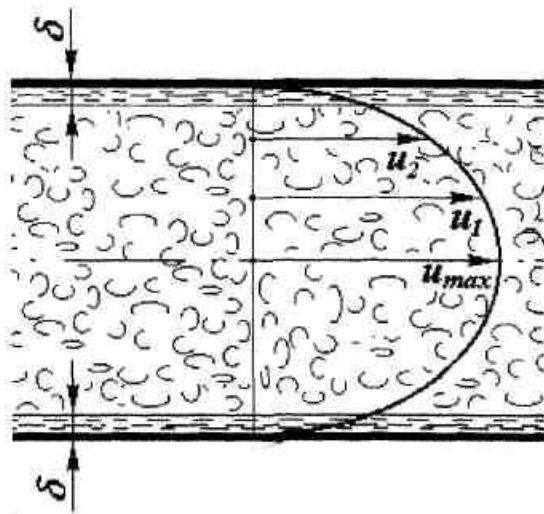


Рис. 5.3 Рух рідини в трубі

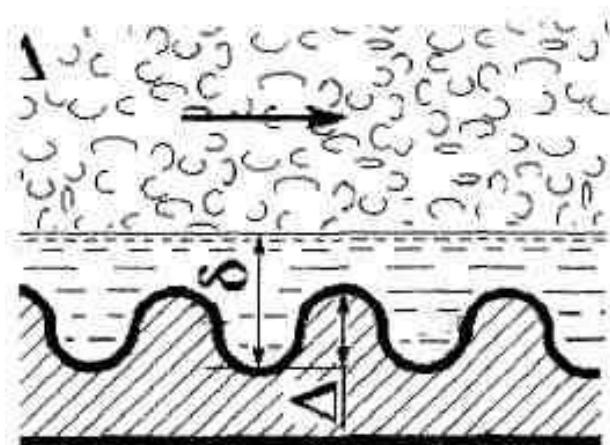


Рис. 5.4 Рух рідини біля стінки труби

Цей шар називають ламінарним. Взаємне розміщення ламінарного шару δ та висоти виступів шорсткості стінок Δ визначають три області опору.

Якщо висота виступів шорсткості Δ менше ніж товщина ламінарного шару ($\Delta < \delta$), тобто всі нерівності повністю занурені у

ламінарний шар, рідина у межах цього шару ламінарно огинає виступи шорсткості.

В даному випадку шорсткість стінок не впливає на характер руху і відповідно втрати напору не залежать від шорсткості, а трубопровід називають - гідравлічногладким.

Відповідно **друга область** опору має назву – область гідравлічногладких труб. В даній області λ залежить від числа Рейнольдса Re , тобто $\lambda = f(Re)$.

Еквівалентна шорсткість для старих ржавих сталевих труб $\Delta = 0,8 \div 1,5$ мм. Щоб виконувалась умова $\delta > \Delta$, за А.Д. Альтшулем, при $Re > 2320$. Коефіцієнт $Re \cdot \Delta / d < 10$.

При будь-яких $Re > 4000$ для знаходження λ можна користуватись формулою Конакова:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \cdot \lg Re - 1,64)^2}$$

При числах $Re < 10^5$ коефіцієнт гідравлічного тертя λ можна визначити за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$$

Якщо, висота виступів шорсткості рівна, або більша ніж товщина ламінарного шару ($\Delta \geq \delta$), то деякі нерівності стінок входять у межі турбулентного ядра, потік огинає виступи з відривом частинок рідини.

В даному випадку шорсткість стінок частково впливає на характер руху рідини, а відповідно і на втрати напору.

Третя область - перехідна від гідравлічногладких до гідравлічношорстких труб. В даній області λ залежить від числа Рейнольдса та висоти виступів шорсткості стінки, тобто $\lambda = f(Re; \Delta)$. При $10 < Re \cdot \Delta / d < 500$ має місце перехідна область. Для визначення значення коефіцієнта гідравлічного тертя - λ в перехідній області можна використовувати формулу Френкеля:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[0,27 \frac{\Delta}{d} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right]$$

Також, для даної області λ можна визначати за формулою А.Д. Альтшуля:

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

Четверта область – область гідравлічношорстких труб або квадратичного опору. Пристінного ламінарного шару в цій області немає. Основний вплив на опір потоку здійснює шорсткість труби. Чим більше виступи шорсткості (Δ), тим більшу турбулентність вони викликають і тим більше будуть втрати енергії в потоці на подолання цих опорів.

Дана область має місце при $Re \cdot \Delta / d > 500$.

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

В квадратній області гідравлічний коефіцієнт тертя λ не залежить від швидкості, а залежить від висоти виступів шорсткості стінки, тобто $\lambda = f(\Delta)$ і може бути обчислений за формулою Шифринсона:

$$h_1 = \frac{\lambda \cdot l}{2g \cdot d} \cdot g^2 = k \cdot g^2$$

Оскільки, в цій області λ не залежить від швидкості, то втрати напору пропорційні квадрату швидкості. Тому, ця область опору отримала назву квадратичної.

На практиці було встановлено, що розмір ламінарного (в'язкого) шару зменшується із збільшенням числа Рейнольдса. Звідси випливає, що поняття гладкої або шорсткої стінки (труби) є поняттями відносними: одна і та ж сама стінка в одних умовах (при малих Re) вважається «гладкою», в інших (при великих Re) – «шорсткою».

Порядок виконання роботи

1. Згідно відомостей про установку ГД-5 у звітну таблицю 5.1 записати величини:

- довжина трубопроводу(1м);
- діаметр трубопроводу(10 мм); шорсткість трубопроводу ($\Delta = 0,15$ мм).

2. Відкрити кран постачання води з мережі.

3. Перевірити стан готовності установки до виконання роботи:

- шнур електроживлення включений до мережі напругою 380 В;

- кран наповнення напірного баку 2, в положенні – “закрито”; кран регулювання витрат рідини 12, в положенні – “закрито”; кран зливу рідини з мірного баку 11, в положенні – “відкрито”;

4. Тумблером 3 електроживлення включити електронасос 14, 15.

5. За допомогою крана 2 забезпечити наповнення напірного баку 6 так, щоб робоча рідина витікала через патрубок холостого зливу 5.

6. За допомогою лабораторного термометра провести вимірювання температури рідини у напірному баці 6, результати вимірювань записати у звітну таблицю 1.

7. Згідно вимірної температури за тарировочною таблицею 2 визначити коефіцієнт кінематичної в'язкості (ν). Отримані данні записати у звітну таблицю 1.

8. Відкрити кран регулювання витрат рідини 12.

Увага! Під час відкривання крану регулювання витрат рідини 12 необхідно слідкувати за показами п'єзометрів, щоб рівень рідини в них не впав нижче 5 см. Якщо спостерігається ризик зниження рівнів у п'єзометрах кран регулювання витрат рідини 12 необхідно закрити.

9. Зняти покази з п'єзометрів № 1 і № 2 і записати у звітну таблицю 1.

10. На шкалі 10 мірного баку 17 вибрати позначку початку відліку (над рівнем рідини у мірному баці і згідно тарировочної таблиці 3 записати значення початкового об'єму у звітну таблицю 1.

11. На шкалі 10 мірного баку 17 вибрати позначку закінчення відліку (над позначкою початку відліку) і згідно тарифовочної таблиці 3 записати значення кінцевого об'єму у звітну таблицю 1.

12. Закрити кран 11 зливу рідини з мірного баку.

13. За допомогою секундоміра виміряти час проходження рівня рідини від «початкової» до «кінцевої» позначки шкали вимірювального баку. Отримані дані записати у звітну таблицю 1.

Увага! Якщо рівень рідини по шкалі 10 мірного баку 17 підніметься вище позначки «7», то необхідно негайно відкрити кран 11 зливу рідини з мірного баку.

14. Відкрити кран 11 зливу рідини з мірного баку.

15. Згідно пунктів 7 ÷ 13 повторити дослід два рази.

16. Закрити кран регулювання витрат рідини 12.

17. Закрити кран 2 наповнення напірного баку 18. Тумблером 3 відключити живлення електронасосу.

19. Провести необхідні обчислення згідно звітній таблиці 1.

Таблиця 5.1 (звітна)

№	Назва величини	Позначення (формула для обчислення)	Одиниці вимірювань	Номер дослідів		
				1	2	3
1	2	3	4	5	6	7
1	Діаметр трубопроводу	d	м			
2	Довжина трубопроводу	l	м			
1	2	3	4	5	6	7
3	Площа живого перерізу трубопроводу	$\omega = \pi d^2 / 4$	м ²			
4	Час наповнення мірного баку	τ	с			
5	Початковий об'єм	V_1	м ³			

6	Кінцевий об'єм	V_2	м^3			
7	Об'єм	$V = V_2 - V_1$	м^3			
8	Витрати рідини	$Q = V/T$	$\text{м}^3/\text{с}$			
9	Середня швидкість потоку	$\vartheta = Q/\omega$	$\text{м}/\text{с}$			
10	Температура рідини	t	$^{\circ}\text{C}$			
11	Коефіцієнт кінематичної в'язкості	ν	$\text{м}^2/\text{с}$			
12	Число Рейнольдса	$Re = \vartheta \cdot d / \nu$	-			
13	Шорсткість трубопроводу	Δ	м			
14	Показчик зони гідравлічних опорів	Δ / d	-			
15	Коефіцієнт гідравлічного тертя (теоретичний)	λ_m	-			
16	Втрата напору по довжині (теоретична)	$l_M = \lambda_p \cdot l \cdot g^2 / (2g \cdot a)$	м			
17	Відлік за п'езометром № 1	h_1	м			
18	Відлік за п'езометром №2	h_2	м			
19	Втрата напору по довжині (дослідна)	$h_{l0} = h_1 - h_2$	м			
20	Коефіцієнт гідравлічного тертя (теоретичний)	$\lambda_0 = 2g \cdot d \cdot h_{l0} / (l g^2)$	-			
21	Розбіжність для втрат напору	$(h_{lm} / h_{l0}) \cdot 100\%$	%			
22	Розбіжність для коефіцієнта гідравлічного тертя	$(\lambda_m / \lambda_0) \cdot 100\%$	%			

Таблиця 5.2 (тарировочна)

Температура води, $t^{\circ}\text{C}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
---------------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu, \times 10^{-8} (m^2 / c)$	131	127	124	120	117	114	111	108	106	103	101	98	96	94	92	90
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----

Таблиця 5.3 (тарировочна)

Позначка мірного баку	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4
Об'єм мірного баку $W, \times 10^{-4} m^3$	4,65	5,58	6,51	7,44	8,37	9,13	10,203	11,16	12,09	13,02	13,95	14,88	15,81
Позначка мірного баку	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7
Об'єм мірного баку $W, \times 10^{-4} m^3$	16,74	17,76	18,60	19,53	20,46	21,39	22,32	23,25	24,18	25,11	26,04	26,97	27,90

Питання для самоконтролю

1. Що називається напором, які є його види?
2. Від чого залежать втрати напору по довжині трубопроводу?
3. Як визначається область опору?
4. Які труби називають гідравлічногладкими?
5. Які труби називають гідравлічношорсткими?

Завдання до роботи

1. Користуючись літературою, з'ясуйте теоретичні питання теми лабораторної роботи та дайте відповіді на питання для самоконтролю.
2. Ознайомтесь з будовою та принципом роботи лабораторної установки ГД-5.
3. Намалюйте загальний вигляд, ділянку дослідного трубопроводу та гідравлічну схему лабораторної установки ГД-

5.

4. Накресліть звітні таблиці № 5.1 і тарифовочні таблиці 5.2 і

5.3.

5. Проведіть вимірювання згідно порядку виконання роботи.

6. В одній системі координат накресліть графік залежності

$$\lambda = f(Q); h_{lm} = (Q); h_{ld} = (Q).$$

7. Оформити звіт про роботу.

Завдання для самостійної роботи

Визначення втрат напору по довжині труби h_l є основою розрахунку трубопроводу і в той же час складною задачею. Складність полягає в тому, що втрати напору по довжині труби залежать від багатьох факторів і перш за все від режиму руху рідини.

При ламінарному русі користуються формулою Пуазейля, яка була отримана ним емпіричним шляхом в 1840 році:

$$h_l = 32 \frac{\mu}{\rho g} \frac{l}{D^2} v$$

З формули видно, що h_l залежить від властивостей рідини $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$, які враховуються коефіцієнтом в'язкості μ та величиною ρ ; прямо пропорційна середній швидкості v в першій степені; не залежить від шорсткості стінок труби.

Для циліндричної труби:

$$h_l = 32 \frac{\mu}{\rho g} \frac{l}{D^2} \cdot v = 32 \frac{\rho g}{d} \frac{l}{d} \frac{v^2}{g 2g} = 64 \frac{\rho g}{D v} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

$$\text{Звідки: } h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

$$\text{При ламінарному русі } \lambda = \frac{64}{\text{Re}},$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Якщо діаметр замінити на гідравлічний радіус то:

$$h_l = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}.$$

При турбулентному русі λ визначають за емпіричними формулами, які приведені в теоретичних відомостях до лабораторної роботи.

Раніше вважали, що коефіцієнт λ є постійною величиною. Потім його ставили в залежності від середньої швидкості v або діаметра d . Деякі дослідники λ пов'язували тільки з шорсткістю труб. Сучасні розрахункові формули для λ базуються на шорсткості труб та числі Рейнольдса.

При підготовці до лабораторної роботи проаналізуйте розв'язки задач 1 і 2 та розв'яжіть задачі 3,4 і 5.

Задача 1

Визначити втрати напору при русі води зі швидкістю $v = 16$ м/с по трубі діаметром $d = 200$ мм, довжиною $l = 2000$ м. Труби сталеві, нові, температура води $t = 10^\circ\text{C}$.

Розв'язання. Визначимо режим руху рідини. Кінематичну в'язкість води при $t = 10^\circ\text{C}$ приймемо $0,0131$ Ст (з таблиці)

$$R_e = \frac{v d}{\nu},$$

$$R_e = \frac{16 \cdot 200}{0,0131} = 24400.$$

Оскільки $R_e = 24400 > R_{\text{кр}} = 2320$, то режим руху – турбулентний.

Знайдемо R_e , яке відповідає межі області гідравлічно гладких труб, прийнявши для нових сталевих труб $\Delta = 0,45$ мм, тоді

$$R_e = 27 \left(\frac{d}{\Delta} \right)^{8/7} = 27 \left(\frac{200}{0,45} \right)^{8/7} = 28667.$$

Значить в даному випадку область гідравлічно гладких труб. Знайдемо λ за формулою:

$$\lambda_{\text{эл}} = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,52)^2} = 0,0237.$$

Тоді втрата напору

$$h_{mp} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{mp} = 0,0237 \frac{2000}{0,2} \frac{0,16^2}{19,62} = 0,31 \text{ м}$$

Задача 2

У водопровідній трубі з внутрішнім діаметром $d_b = 41$ мм. рухається вода з температурою 70°C і швидкістю $v = 0,4$ м/с. Довжина трубопроводу 20 м. Кінематичний коефіцієнт в'язкості води при $t = 70^\circ\text{C}$, $\nu = 0,00415$ см²/с, $K_e = 0,2$ мм. Густина води $\rho_{70^\circ\text{C}} = 977,81$ кг/м³. Визначити витрату напору на тертя і погодинну витрату води в трубі.

Розв'язання. Визначити число Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{40 \cdot 4,1}{0,00415} = 39518.$$

Для труб діаметром до 200 мм між другою і третьою ділянками гідравлічного режиму є значення:

$$Re = 150 \frac{d}{K_e} \text{ або } Re = 207 \frac{d}{K_e} - 16000.$$

$$\text{В даному випадку } Re = 150 \left(\frac{41}{0,2} \right) = 30750 < 39518$$

$$\text{або } Re = 207 \left(\frac{41}{0,2} \right) = 16000 = 39518$$

Труба гідравлічно шорстка. Для неї λ визначається за формулою Прандля:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{d}{K_e} + 1,14 \right)^2} = \frac{1}{\left(2 \lg \frac{14}{0,2} + 1,14 \right)^2} = 0,0303$$

Визначимо питому втрату напору на тертя в кгс/м² на 1 м довжини труби

$$R_{mp} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\vartheta^2 \rho}{2g} = \frac{0.03}{0.041} \cdot \frac{0.4^2 \cdot 977.81}{19.62} = 6 \text{ кгс/м}^2,$$

Тоді $h_e = R_{mp} l = 6 \cdot 20 = 120 \text{ кгс/м}^2 = 0.12 \text{ м вод.ст.}$

Площа поперечного перерізу труби

$$S = 0.785 d^2 = 0.785 \cdot 0.41^2 = 0.00132 \text{ м}^2,$$

Тоді втрата води

$$Q = 3600 \cdot \vartheta S = 3600 \cdot 0.4 \cdot 0.00132 = 1.9 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Задача 3

Дана суцільнозварена стальна труба круглого перетину, яка була у експлуатації, але в хорошому стані. Діаметр труби $D = 100 \text{ мм}$, довжина її $l = 300 \text{ м}$. По трубі рухається газ, який має температуру $t = 20^\circ\text{C}$, витрата газу $Q = 6 \text{ л/с} = 0.006 \text{ м}^3/\text{с}$

Необхідно:

- встановити режим руху газу в трубі;
- якщо режим руху турбулентний, то визначити область опору, яка відповідає заданим умовам руху;
- знайти величину втрат напору h_t по довжині труби для даного трубопроводу.

Задача 4

Дана кругла суцільнозварена стальна труба, яка була в експлуатації, з висотою виступів нерівностей $\Delta = 0.15 \text{ мм}$. Діаметр труби $D = 0.5 \text{ м}$, довжина її $l = 500 \text{ м}$. По трубі рухається вода, яка має температуру $t = 15^\circ\text{C}$, витрата води $Q = 6 \text{ л/с} = 0.006 \text{ м}^3/\text{с}$. Необхідно визначити втрату напору по довжині труби.

Задача 5

Визначити втрату тиску на тертя в циліндричній трубі з перетином у вигляді кільцевого зазору величиною $\delta = 2 \text{ мм}$, довжиною $l = 500 \text{ мм}$ і діаметром внутрішнього кола $D = 155 \text{ мм}$. Витрата рідини (азотної кислоти) $Q = 10 \text{ кг/с}$, густина кислоти $\rho = 1510 \text{ кг/м}^3$.

Температуру кислоти в трубі вважати постійною $t = 8^\circ\text{C}$ ($\nu =$

0,25 с·Ст)

ЛІТЕРАТУРА

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторно-практична робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ НА МІСЦЕВИХ ОПОРАХ

Мета роботи: Ознайомитись з природою втрат напору на місцевих опорах та навчитись визначати втрати напору при різкому розширенні трубопроводу.

При виконанні роботи треба отримати такі знання та уміння:

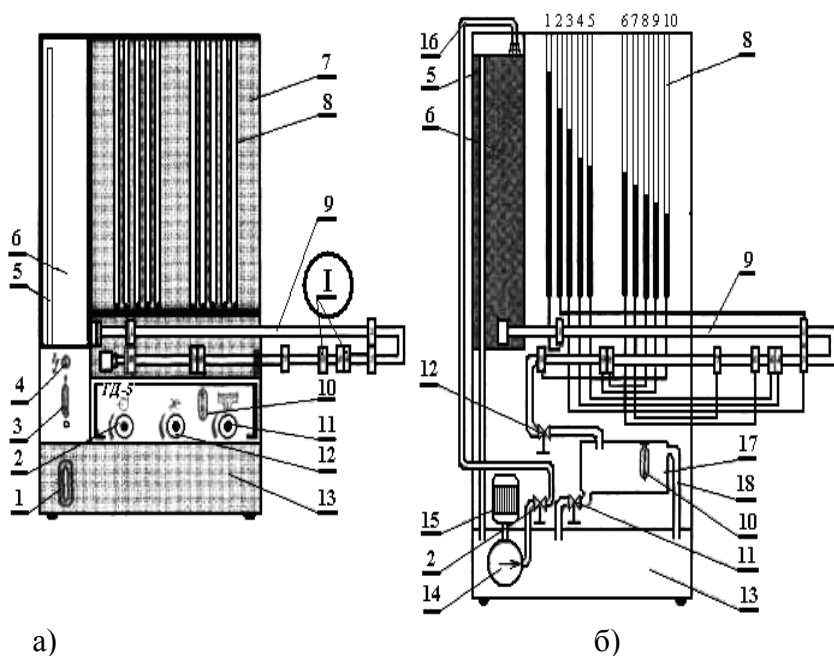
Знання:

- сутність втрат напору на місцевих опорах;
- методика розв'язання задач з визначення втрат напору на місцевих опорах.

Уміння:

- користуватись установкою типу ГД-5;
- визначати втрати напору при раптовому розширенні трубопроводу.

Обладнання та інструменти: лабораторна установка типу ГД-5, секундомір.



а)

б)

Рис. 6.1 Будова лабораторної установки ГД-5

а) загальний вигляд установки ГД-5;

б) гідравлічна схема установки ГД-5;

I – ділянка для дослідження

використовують кран 11. З метою контролю рівня в мірному баці 17, до його верхньої частини приєднана зливна трубка 18.

На передній панелі 7 встановлені десять п'єзометричних трубок 8.

За допомогою п'єзометрів № 1 і № 2 можна виміряти втрати напору по довженні трубопроводу.

П'єзометри № 4 і № 7 використовують для вимірювання втрат напору при різкому розширенні трубопроводу.

Трубопроводи, що розподіляють або відводять рідину від споживачів, змінюють свій діаметр (переріз). На протязі трубопроводу зустрічаються повороти, відгалуження, встановлюються запірні пристрої тощо. В цих місцях потік різко змінює свою форму, тобто деформується. Внаслідок зміни форми виникають додаткові сили опору, які називають місцевими опорами. На їх подолання витрачається напір (енергія). Напір, який втрачається при подоланні місцевих опорів називають *місцевими втратами* напору і позначають – h_m .

Розмірність витрат рідини така ж як і напору, тобто, метри стовпа рідини.

Одним з прикладів місцевого опору є різке розширення трубопроводу. При проходженні потоку через дану ділянку виникає втрата напору.

Вперше розрахункову залежність для h_m запропонував французький інженер Борд, який ототожнив різке розширення струменя явищу удару непружних твердих тіл. Отже, інколи втрату h_m називають втратою на удар.

Втрати напору при різкому розширенні потоку можна визначити по теоретичній формулі Борда:

$$h_{m.p.} = \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g} \quad \text{або} \quad h_{m.p.} = 1 - \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^2 \frac{g_1^2}{2g}$$

Позначивши

$$1 - \left(\frac{d_1^{2^2}}{d_2^2} \right)^2 = \zeta$$

Отримаємо

$$h_{м.р.} = \zeta \frac{g_1^2}{2g}$$

Скориставшись рівнянням нерозривності потоку:

$$\vartheta_1 S_1 = \vartheta_2 S_2$$

отримаємо

$$h_{м.р.} = \left(1 - \frac{w_1}{w_2}\right)^2 \cdot \frac{g_1^2}{2g}$$

Коефіцієнт ζ називають коефіцієнтом опору при різкому розширенні потоку.

Втрати енергії (напору) на місцевих опорах можна визначати за аналітичною залежністю. Але оскільки теоретично розв'язати дану задачу важко із-за складності геометричних форм більшості опорів, то, як правило, даний коефіцієнт визначають експериментально і заносять у довідникову літературу.

Порядок виконання роботи

1. Згідно відомостей про установку ГД-5 (Рис. 6.2) у звітну таблицю 6.1 записати величини діаметрів «до розширення» і «після розширення».

2. Перевірити стан готовності установки до виконання роботи:

- шнур електроживлення включений до мережі напругою 380 В;

- кран 2 наповнення напірного баку 6, в положенні – «Закрито»;

- кран 11 зливу рідини з мірного баку 17, в положенні – «Відкрито»;

3.Тумблером Включити електронасос 14, 15.

4.Краном 2 забезпечити наповнення напірного баку 6 так, щоб робоча рідина витікала через патрубок холостого зливу 5.

5.Відкрити кран регулювання витрат рідини 12.

Увага! Під час відкривання крану регулювання витрат рідини 12 необхідно слідкувати за показами п'єзометрів, щоб рівень рідини в них не впав нижче 5 см. Якщо спостерігається ризик зниження рівнів у п'єзометрах кран регулювання витрат рідини 12 необхідно закрити.

6. Зняти покази з п'єзометрів № 4 і № 7 і записати у звітну таблицю 6.1. На шкалі 10 мірного баку 17 вибрати позначку початку відліку над рівнем рідини у мірному баці і згідно тарировочної таблиці 6.2 записати значення початкового об'єму у звітну таблицю 6.1.

На шкалі 10 мірного баку 17 вибрати позначку закінчення відліку над позначкою початку відліку, і згідно тарировочної таблиці 6.2 записати значення кінцевого об'єму у звітну таблицю 6.1.

7. Закрити кран зливу рідини з мірного баку 11.

8. За допомогою секундоміра виміряти час наповнення рідиною від «початкової» до «кінцевої» позначки шкали вимірювального баку. Отримані дані записати у звітну таблицю 6.1.

Увага! Якщо рівень рідини по шкалі 10 мірного баку 17 підніметься вище позначки "7", то необхідно негайно відкрити кран 11 зливу рідини з мірного баку.

9. Відкрити кран 11 зливу рідини з мірного баку.

10. Згідно пунктів 5 - 11 повторити дослід три рази.

11. Закрити кран регулювання витрат рідини 12.

12. Закрити кран наповнення напірного баку 2.

13. Тумблером 3 відключити живлення електронасосу 14,1 5.

14. Провести необхідні обчислення згідно звітній таблиці 6.1.

Питання для самоконтролю

1. Які фактори впливають на виникнення місцевих опорів

у трубопроводах?

2. Які ділянки трубопроводів відносяться до місцевих опорів?

3. Поясніть фізичну суть виникнення втрат напору рідини на місцевому опорі - різке розширення.

4. Як впливає на величину загального коефіцієнта опору близьке розташування двох місцевих опорів?

5. Як впливає режим руху рідини (число Рейнольдса) на коефіцієнт місцевого опору?

Таблиця 6.1 звітна

№ п/п	Найменування величин	Позначення	Одиниці вимірювання	1	2	3	4
1.	Діаметр «до розширення»	d	м				
2.	Діаметр «після розширення»	d_2	м				
3.	Площа живого перерізу	$W_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$	м ²				
4.	Площа живого перерізу	$W_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$	м ²				
5.	Час наповнення мірного бачка	τ	с				
6.	Початковий об'єм	V_1	м ³				
7.	Кінцевий об'єм	V_2	м ³				
8.	Об'єм	$V = V_1 - V_2$	м ³				
9.	Витрати	$Q = V / \tau$	м ³ / с				
10.	Середня швидкість течії	$U_1 = Q / S_1$	м / с				
11.	Середня швидкість течії	$U_2 = Q / S_2$	м / с				
12.	Втрата напору теоретична	$h_{i. \text{т.}} = \frac{(g_1^2 - g_2^2)}{2g}$	м				
13.	Відлік за п'єзометром №4	h_4	м				
14.	Відлік за п'єзометром №7	h_7	м				
15.	Різниця показів п'єзометрів	$h = h_4 - h_7$	м				
16.	Втрата напору дослідна	$h_{i. \text{д.}} = h + \frac{g_1^2 - g_2^2}{2g}$	м				
17.	Розбіжність для витрат	$\frac{h_{i. \text{м.}}}{h_{i. \text{д.}}} \cdot 100$	%				
18.	Коефіцієнт опору теоретичний	$\zeta_m = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2$					
19.	Коефіцієнт опору дослідний	$\zeta_d = \frac{2g \cdot h_{i. \text{д.}}}{g_2^2}$					
20.	Розбіжності для коефіцієнта опору	$\frac{\zeta_d}{\zeta_m} \cdot 100$	%				

Завдання для самостійної роботи

Втрати напору на місцевих опорах знаходяться за формулою:

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Коефіцієнт ζ для найбільш поширених випадків знаходиться за таблицями. При розв'язанні задач в багатьох випадках його значення треба знаходити за емпіричними формулами.

1. *Діафрагма* з гострими краями в трубі круглого поперечного перетину при $Re = \frac{v^2 D^2}{\nu} \geq 10^5$ і при $\frac{l}{D^2} = 0 \div 0,015$

$$\zeta_d = \frac{h_g}{v_2^2},$$

де v_2 – середня швидкість в круглому отворі діафрагми площею S_2

h_g – втрати напору на діафрагмі.

2. *Різкий поворот* труби на кут α без закруглення:

$$\zeta_{p.пов.} = \frac{h_{p.пов.}}{v^2/2g}$$

3. *Плавний поворот* труби на кут α при $Re \geq 10^5$:

$$\zeta_{п.пов.} = \frac{h_{п.пов.}}{v^2/2g}$$

Для гладкої циліндричної труби $\zeta_{п.пов.}$ знаходиться за формулою:

$$\zeta_{п.пов.} = \zeta \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}$$

Коефіцієнт ζ береться з таблиць.

4. *Трійник* з труб однакового діаметра

$$\zeta_1 = \frac{h_1}{v_1^2/2g} ;$$

$$\zeta_2 = \frac{h_2}{v_1^2/2g} ,$$

де ζ_1 – коефіцієнт опору на ділянці трійника з притоку рідини на розгалуження;

ζ_2 – коефіцієнт опору на ділянці першого перетікання рідини.

5. *Засувки* різного типу.

$$\zeta = \frac{h_2}{v^2/2g} ,$$

де v – швидкість рідини в трубі;

h_2 – втрата напору на засувці

Засувки можуть бути:

- засувки, що перетинають круглі труби;
- прості засувки, що перекривають труби прямокутного перетину;
- засувки Лудго на круглій трубі;
- засувки з симетричним звуженням;
- засувки дискового дросельного типу.

6. *Клапани*.

Загальна формула для визначення коефіцієнту опору

$$\zeta_{\text{кл}} = \frac{h_{\text{кл}}}{v^2/2g} ,$$

де v – швидкість рідини в трубі;

$h_{\text{кл}}$ – втрата напору в клапані.

Клапани можуть бути:

- захлопки, для яких $\zeta_{\text{кл}}$ визначається за кутом нахилу захлопки до осі;
- зворотні клапани, для яких $\zeta_{\text{кл}}$ визначається за діаметром труби.

При підготовці до лабораторної роботи зробіть аналіз розв'язку задач 1 і 2, а також розв'яжіть задачі 3, 4, 5 і 6.

Задача 1

Визначити втрату напору при раптовому розширенні в трубопроводі, якщо $d_1 = 100$ мм, $d_2 = 150$ мм і швидкість в широкому перетині $v_2 = 1$ м/с.

Розв'язання. Втрата напору h_m визначається за формулою:

$$h_m = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} = \left(\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right)^2 \cdot \frac{v_2^2}{2g} =$$

$$\left(\left(\frac{150}{100} \right)^2 - 1 \right)^2 \cdot \frac{1^2}{19,62} = 0,08 \text{ м, або } \Delta P = 80 \text{ кгс/м}^2.$$

Якщо раптове розширення замінити дифузором з кутом розширення $\alpha = 15^\circ$, то втрата напору зменшиться до

$$h_{\text{диф}} = 0,35 \cdot 0,08 = 0,028 = 28 \text{ кгс/м}^2.$$

Довжина дифузору

$$l = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{150 - 100}{2 \cdot \operatorname{tg} 7,5^\circ} = 190 \text{ мм}$$

Задача 2

Визначити втрату напору при вході води з резервуару в трубу. Швидкість руху води в трубі $v = 0,78$ м/с, $\zeta = 0,41$

Розв'язання. Втрату напору знайдемо за формулою:

$$h_m = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Підставимо значення

$$h_m = 0,41 \cdot \frac{0,78^2}{19,62} = 0,0103 \text{ м вод. ст., або } \Delta P = 10,3 \text{ кгс/м}^2$$

Задача 3

Визначити втрату напору при раптовому розширенні в трубопроводі, якщо діаметр широкого перетину 200 мм, вузького 100 мм і швидкість у вузькому перетині $v = 2$ м/с.

Задача 4

Визначити втрату напору на діафрагмі, якщо діаметр її отвору 45 мм. Діаметр трубопроводу 100 мм, швидкість води $v = 1$ м/с.

Задача 5

Від бака, в якому за допомогою насоса підтримується постійний тиск рідини, відходить трубопровід діаметром $d = 50$ мм. Між баком і краном К на трубопроводі встановлений манометр. При закритому положенні крана $P_0 = 0,5$ МПа. Знайти зв'язок між витратою рідини в трубопроводі Q і показами манометра P при різних відкриттях клапана, якщо коефіцієнт опору вхідної ділянки трубопроводу від бака до манометра дорівнює $\zeta = 0,5$. Густина рідини $\rho = 800$ кг/м³. Знайти витрату рідини при повністю відкритому клапані, коли покази манометра $P = 0,485$ МПа.

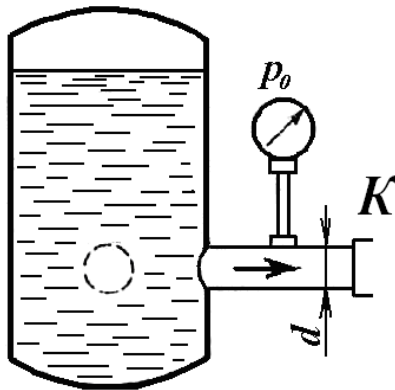


Рис.6.3 Рисунок до задачі 5

Задача 6

Насос нагнітає рідину в напірний бак, де підтримується постійна висота $H = 2$ м і постійний тиск $P_2 = 0,2$ МПа. Манометр, який встановлений на виході з насоса на трубі діаметром $d_1 = 75$ мм, показує $P_1 = 0,25$ МПа. Визначити витрату рідини Q , якщо діаметр викривленої труби, по якій підводиться рідина до баку, рівний $d_2 = 50$ мм; коефіцієнт опору цієї труби $\zeta = 0,5$. Густина рідини $\rho = 800$ кг/м³.

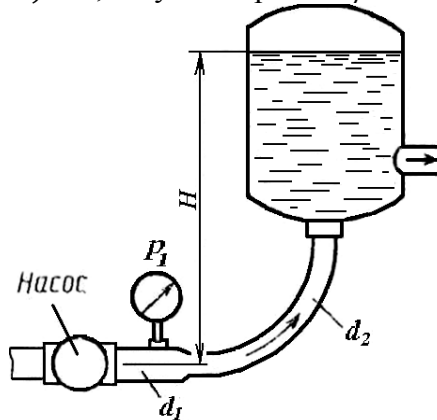


Рис.6.4 Рисунок до задачі 6

ЛІТЕРАТУРА

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія
конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних
матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота № 7

ВИТІКАННЯ РІДИНИ ЧЕРЕЗ ОТВОРИ І НАСАДКИ

Мета роботи: ознайомитись з витіканням рідини через отвори і насадки та визначити коефіцієнти швидкості φ , витрат μ , стиску ε дослідним шляхом.

При цьому отримати такі знання і вміння:

Знання:

- про залежність між коефіцієнтами φ , μ , ε ;
- із якої насадки вода буде витікати з найбільшою швидкістю;
- яка з насадок має найбільшу витрату рідини.

Уміння:

- визначати залежність між типом насадки і коефіцієнтами φ , μ , ε ; між типом насадки і дальністю струменя рідини; між типом насадки і витратою рідини;
- вибирати тип насадки для практичних робіт.

Обладнання та інструменти: лабораторна установка (напірний резервуар, мірні баки, різні типи насадків).

Короткі теоретичні відомості

Насадкою називають коротку трубку, приєднану до отвору в тонкій стінці.

Витікання рідини з отворів, насадок, коротких труб зустрічається достатньо часто в гідротехнічній практиці. Так насадки використовуються при витіканні рідин з резервуарів, через водовипуски, сифони, ежектори в гідромоторах, пожежних пристроях тощо.

Розрізняють такі види отворів: по відношенню до величини отвору – малі та великі; по відносній товщині стінок - отвори в тонкій і товстій стінці. Найбільш поширеними насадками є: циліндричнозовнішні I і внутрішні II; конічні – що сходяться III

і розходяться IV; колоїдальні V (Рис. 6.1).

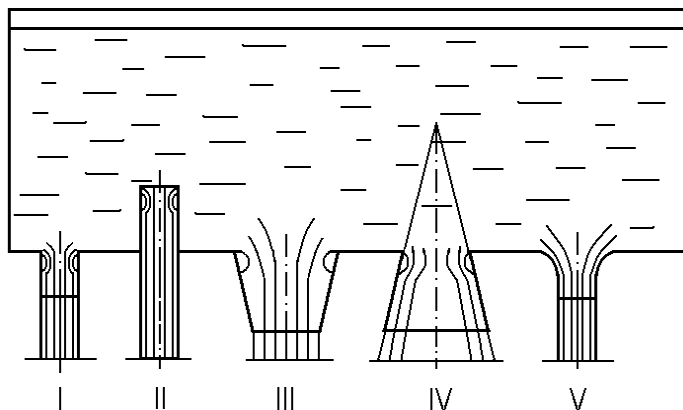


Рис. 6.1 Типи насадок

Витрата рідини за одиницю часу через насадки більша, ніж при витіканні з отворів такої самої площі в тонкій стінці. Це пояснюється тим, що всередині насадки утворюється стиснутий переріз і швидкість руху рідини в цьому перерізі більша, ніж швидкість у місці виходу струменя з насадки. Тиск у стиснутому перерізі буде менший від атмосферного, крім того, насадок збільшує опір, або пропускну здатність отвору.

Так само як витікання рідини з отворів, витікання з насадок може відбуватись при постійному і змінному напорах в атмосферу і під рівень (затоплення).

Розглянемо *зовнішній циліндричний насадок* при постійному напорі в атмосферу. Струмінь рідини, завдяки силам інерції частинок рідини, які поступають у насадок, стискується до певної величини, потім розширюється і заповнює весь насадок (Рис. 6.2).

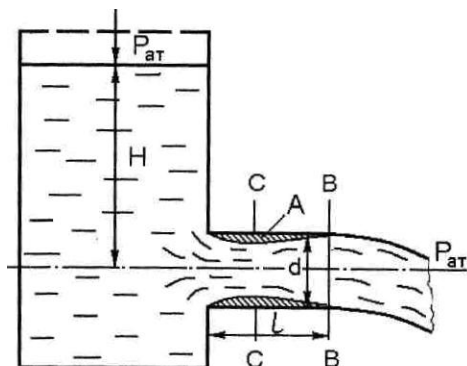


Рис. 6.2 Витікання рідини через циліндричний насадок

При цьому утворюється одновальцева область А, яка має кільцеподібну форму.

Розрахункові залежності для ϑ_v і Q можна отримати користуючись рівнянням Бернуллі для перерізів 1-1 і В-В. Швидкість ϑ_v знаходиться за формулою:

$$v = \varphi \sqrt{2q \cdot H},$$

де φ - коефіцієнт швидкості;

H - напір.

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + (\zeta_{нас})a}}$$

де $\zeta_{нас}$ - коефіцієнт місцевого опору.

Витрата Q при витіканні рідини з насадка:

$$Q = \mu_n S \sqrt{2q \cdot H},$$

де μ_n - коефіцієнт витрати насадка.

$$\mu_n = \varepsilon_s \cdot \varphi,$$

де ε_s - коефіцієнт стискування на виході насадка.

$$\varepsilon_s = S_0 / S_0 = 1,0.$$

Коефіцієнт стискування для перерізу С-С, де буде максимальний вакуум $\varepsilon_v = 0,63-0,64$.

Конічний насадок, що сходиться III має вигляд зрізаного конуса, більшою основою приєднаний до посудини з рідиною. В ньому втрати напору менші, ніж в циліндричному насадку, це пояснюється тим, що будуть менші втрати напору при вході рідини в насадок. Проте при вході в конічний насадок відбувається додаткове стискування струменя рідини, а це є недоліком такого насадку. Коефіцієнти витрат і швидкості для конічних насадок, що сходяться, неоднакові, при чому вони змінюються в залежності від кута конусності. Коефіцієнт швидкості φ неперервно росте при збільшенні конусності від 0 до 50°, а коефіцієнт витрати спочатку росте, при 13° має максимальне значення 0,95, а потім зменшується до 0,85 (при куті 48° 50'). При оптимальному куті конусності 13° коефіцієнт швидкості $\varphi = 0,97$.

Конічний насадок, що розходитьсЯ IV представляє собою зрізаний конус, приєднаний до посудини меншою основою. В стиснутому перерізі такого насадку створюється вакуум більший, ніж у зовнішньо-циліндричному. При куті конусності менше 8° конусний насадок, що розходитьсЯ, працює повним перерізом, а при більшому 8° відбувається відрив струменя рідини від стінок.

Втрати енергії в конічному насадку, що розходитьсЯ, більші, ніж в циліндричному із-за того, що струмені більше розширюється після стиснутого перерізу. Можна вважати, що

$$\mu = \varphi = 0,45. \Sigma \zeta \approx 4.$$

Коноїдальний насадок V має лійкоподібну вхідну частину, виконану в формі струї, яка витікає, а вихідну циліндричну. В зв'язку з цим коефіцієнти витрат і швидкості однакові між собою $\mu = \varphi = 0,97$.

Таблиця 6.1 Значення коефіцієнтів витрати μ , швидкості φ , стискування ε і ζ опору насадок

Тип насадків	Числові значення коефіцієнтів				Галузь застосування
	μ	φ	ε	ζ	
Циліндричний зовнішній (I)	0,82	0,82	1	0,5	Водовипуски в плотинах, труби під насипами для доріг тощо
Циліндричний внутрішній (II)	0,707	0,707	1	1	Водовипуски в плотинах, труби під насипами для доріг тощо
Конічна, що сходиться (III)	0,94	0,96	0,98	0,04-0,06	Сопла турбін, гідромоніторах в брансбойдах
Конічний, що розходиться (IV)	0,45-0,50	0,45-0,50	1	4-3	Відсмоктуючі труби турбін ГЕС тощо
Конічний (V)	0,98	0,98	1	0,04	Відсмоктуючі труби турбін ГЕС тощо
Мають отвір круглого перерізу в тонкій стінці	0,62	0,97	0,64	0,06	

Питання для самоконтролю

1. Що спричиняє стиснення струменя при витіканні рідини з отвору в тонкій стінці чи насадку?
2. Як визначають стиснення струменя?
3. Яку роль в роботі насадка відіграє вакуум, що виникає при вході в насадок?
4. Які є типи насадок і які відмінності в їх роботі?
5. Чим відрізняється характер витікання з отвору в тонкій стінці від витікання з насадок?
6. Який зв'язок між коефіцієнтами φ , μ , ε ?

Опис установки

Дана робота виконується на дослідній установці (Рис. 6.3), яка має напірний резервуар 1, об'ємом 65 л, з водомірною трубкою 10. З боків резервуара встановлені насадки – 3, 4, 5, 6 (3 – конічна, що сходиться; 4 – конічна, що розходить; 5 – циліндрична зовнішня; 6 – колоїдальна). Включаються насадки відповідними вентелями кульового типу. Вода з насадок витікає в мірні баки 7 і 8 однакового об'єму (26 літрів). З мірних баків вода виливається через вентилі 9 і 2.

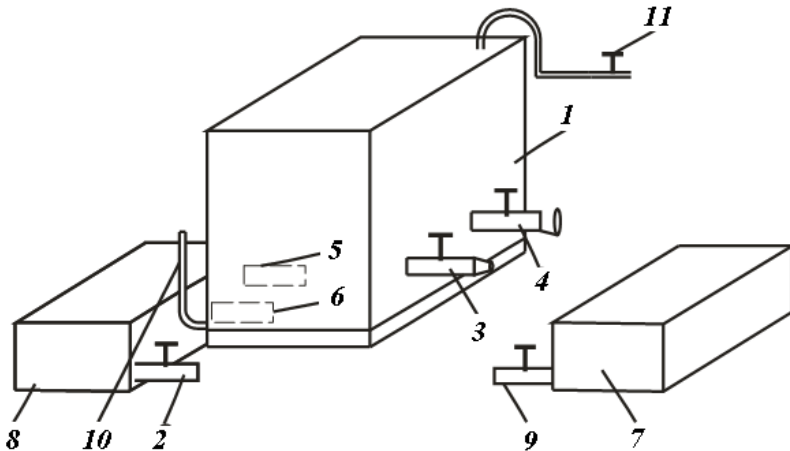


Рис.6.3Схема лабораторної установки ГД-6

Виконання роботи

1. Напірний резервуар заповнюється водою (відкривають вентиль 11, який розташований на водогінній трубі). Постачання води за допомогою вентиля 11 роблять так, щоб у резервуарі встановився постійний напір H .

2. Включають відповідний насадок і наповнюють мірний бак. При цьому за допомогою секундоміра вимірюють τ час наповнення мірного баку.

3. Знаходять параметри відповідного насадка:

$$\mu = Q/S\sqrt{2qH} ; \varphi = \mu ; \gamma = Q/S ; \mathcal{Q}_T = \sqrt{2qH} ; \varepsilon = \mu / \varphi ,$$

$\mathcal{Q}_a$ - дійсна швидкість витікання води з насадка, $\mathcal{Q}_0$ - теоретично обрахована швидкість витікання води.

4. Отримані дані заносять до звітної таблиці.

5. Визначають дальність струменя з кожної насадки.

Для цього встановлюють напір $H = 0,6$ м і за допомогою лінійки знаходять дальність струменя кожної насадки. Дані заносять до звітної таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 (звітна)

Тип насадки	Значення коефіцієнтів				
	μ	φ	ε	ζ	l
Циліндричний насадок (зовнішній)					
Конічний, що сходиться					
Конічний, що розходиться					
Коноїдальний					

Завдання для самостійної роботи

В процесі витікання рідини через отвори і насадки відбувається перетворення потенціальної енергії в кінетичну. З рівняння Бернуллі отримаємо вираз:

$$\vartheta = \varphi \sqrt{2gH},$$

де H – розрахунковий напір, який в загальному випадку дорівнює сумі геометричного і потенціального напорів, тобто

$$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g},$$

де φ – коефіцієнт швидкості

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}},$$

де α – коефіцієнт Коріоліса;

ζ – коефіцієнт місцевого опору.

Витрата рідини при витіканні через отвори, насадки, дроселі і клапани визначається добутком швидкості витікання на площу перетину струменя. Однак ця площа буває меншою площі отвору внаслідок стиснення струменя, тому вводиться коефіцієнт стиснення:

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_0},$$

де S_c і S_0 – площі перетину струменя і твору.

Тоді $Q = S_c \vartheta = \varepsilon S_0 \varphi \sqrt{2gH} = \mu S_0 \sqrt{2gH}$.

Замість розрахункового напору H часто при розв'язуванні задач використовують розрахунковий перепад тиску $\Delta P = H \rho g$, тоді

$$Q = \mu S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} \Delta P.$$

Зазначені вище формули при розрахунках справедливі при витіканні рідини через отвори, насадки і дроселі.

При підготовці до лабораторної роботи ознайомтесь з розв'язком задач 1, 2, 3, та розв'яжіть задачі 4, 5, 6, 7 і 8.

Задача 1

Визначити витрату води при витіканні з круглого незатопленого отвору в тонкій стінці, діаметр отвору $d = 0,3$ м, глибина занурення центру отвору $H = 6,0$ м, швидкість підходу $\vartheta_0 = 1$ м/с, стиснення повне, досконале, $\alpha = 1,0$.

Розв'язання. Витрати знаходимо за формулою:

$$Q = \mu S \sqrt{2gH_0},$$

при цьому, так як $d/H = 0,3/6,0 = 0,05 < 0,1$ – отвір малий, $\mu = 0,62$; $S = 0,785 \cdot 0,3^2 = 0,0707$ м²,

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 \vartheta_0^2}{2g} = 6,0 + \frac{1 \cdot 1^2}{2 \cdot 9,81} = 6,05 \text{ м}$$

Знаходимо:

$$Q = 0,62 \cdot 0,0707 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,05} = 0,478 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Якщо не враховувати швидкість підходу води ϑ_0 , то

$$Q = \mu S \sqrt{2gH_0} = 0,62 \cdot 0,0707 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 6,0} = 0,476 \text{ м}^3/\text{с},$$

тобто різниця в величині витрат не перевищує 0,42 %.

Для перевірки правильності значення $\mu = 0,62$ знайдемо число Рейнольдса ($t = 20^\circ\text{C}$):

$$R_e = \frac{d \sqrt{2gh}}{\nu} = \frac{30 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 600}}{0.0101} = 322000,$$

Оскільки число R_e більше, ніж 100000, то $\mu = 0,62$.

Задача 2

Визначити витрати з квадратного отвору зі стороною $a = 5$ см в тонкій стінці, центр якого розташований на

глибині $H = 2$ м від поверхні води. Отвір однією стороною примикає до дна, а другою – до вертикальної бокової стінки резервуара.

Розв'язання. Витрати визначимо за формулою:

$$Q = \mu S \sqrt{2gH}.$$

Оскільки в даному випадку стиснення не повне, по двох сторонах отвору стиснення немає, можна записати:

$$\mu_{\text{неп}} \left(1 + k \frac{n}{p}\right) = 0,62 \left(1 + 0,15 \frac{2 \cdot 5}{20}\right) = 0,667,$$

$$S = a^2 = 25 \text{ см}^2.$$

$$\text{Тоді } Q = 0,667 \cdot 25 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 200} = 10460 \text{ см}^3/\text{с} = 1046 \text{ л/с}.$$

Задача 3

Визначити витрату через незатоплений водоспуск, виконаний у вигляді труби в тілі плотини, якщо діаметр водоспуску $d = 1,1$ м, його довжина $l = 4,5$ м. Швидкість підходу води до плотини $v_0 = 0,5$ м/с, глибина занурення центра труби під постійний рівень вільної поверхні в водосховище $H = 8$ м (Рис.6.4).

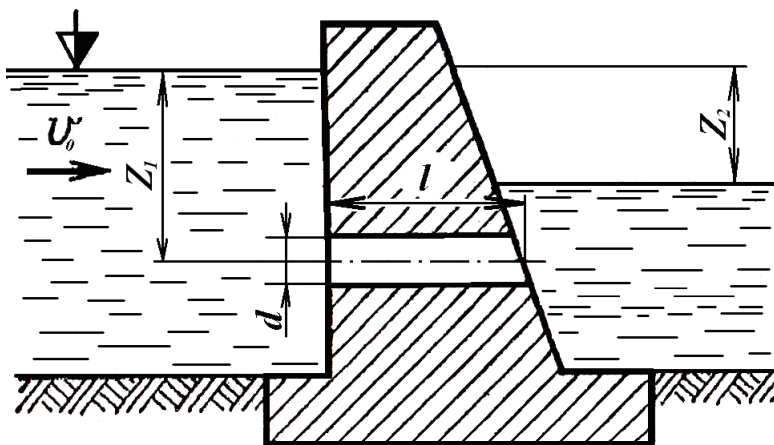


Рис.6.4 Рисунок до задачі 3

Розв'язання. З'ясуємо, чи можна вважати даний трубчатий водоспуск працюючим як зовнішній циліндричний насадок. Для цього знайдемо відношення довжини труби до її діаметра $l/d = 4,5/1,1 = 4,09 \approx 4$.

Отже, можна прийняти коефіцієнт витрат $\mu = 0,82$. Значить можна витрати визначимо за формулою:

$$Q = \mu S \sqrt{2gH},$$

Так як швидкісний напір $v_0^2/2g = 0,5^2/2 \cdot 9,81 = 0,013$ м, і можна прийняти $H_0 \approx H$, то

$$Q = 0,82 \cdot 0,785 \cdot 1,1^2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 8} = 9,76 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Так як $H = 8 \text{ м} < H_{np} \approx 11 \text{ м}$, то вакуум в допустимих границях і насадка буде працювати стійко.

Задача 4

Визначити діаметр круглого отвору в тонкій стінці, з якого в умовах повного досконалого стиснення витрата $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ при напорі $H = 12 \text{ м}$.

Задача 5

Визначити витрату води із затопленого круглого отвору діаметром $d = 0,15 \text{ м}$, глибина занурення центра якого під вільний рівень поверхні до отвору $z_1 = 7 \text{ м}$, за отвором $z_2 = 4,5 \text{ м}$. Витрату визначити без урахування швидкості підходу підходу води до отвору, $\mu = 0,62$ (Рис. 6.4).

Задача 6

Визначити витрату і швидкість при витіканні із незатопленого круглого отвору в боковій стінці посудини, якщо стиснення струменя повне, досконале, діаметр отвору

$d = 15$ см, глибина занурення центра отвору під постійний рівень води в посудині $H = 5$ м.

Задача 7

Визначити швидкість переміщення поршня вниз, якщо до його штоку прикладена сила $F = 10$ кН. Поршень діаметром $D = 50$ мм має п'ять отворів діаметром $d_0 = 2$ мм кожний (Рис.6.5). Отвори розглядати як зовнішні циліндричні насадки з коефіцієнтом витрати $\mu = 0,82$; $\rho = 900$ кг/м³.

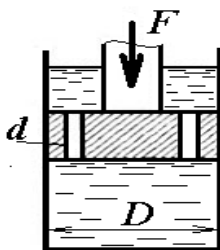


Рис. 6.5 Рисунок до задачі 7

Задача 8

З резервуару, який встановлений на підлозі і заповнений рідиною до висоти H витікає рідина через отвір в стінці (Рис. 6.6). На якій висоті y повинен бути отвір, щоб відстань x до місця падіння струменя на підлогу була максимальною? Визначити цю відстань. Рідину вважати ідеальною.

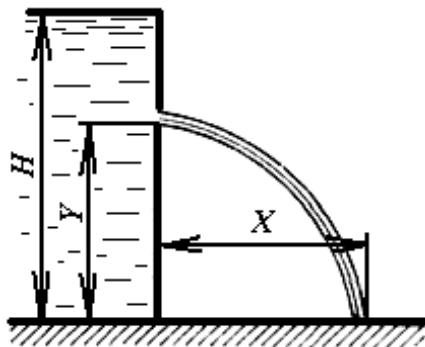


Рис. 6.6 Рисунок до задачі 8
Л І Т Е Р А Т У Р А

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.

Лабораторна робота №8

ВИПРОБУВАННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

Мета роботи: Навчитись користуватись відцентровим насосом.

При виконанні роботи треба отримати такі знання та уміння:

Знання:

- будова відцентрового насосу;
- сутність принципу дії відцентрового насосу.

Уміння:

- запускати в роботу відцентровий насос;
- визначати робочі (зовнішні характеристики та будувати універсальні характеристики).

Обладнання та інструменти: лабораторна установка (відцентровий насос та електродвигун, манометр, вакуумметр, ватметр, диференційний манометр).

Короткі теоретичні відомості

Для правильної експлуатації відцентрових насосів та вибору їх при спорудженні перекачувальних установок треба визначити, як змінюються основні параметри насосів у різних режимах їх роботи. Прийнято будувати залежності у вигляді графіків зміни напору H , потужності на валу насоса N і коефіцієнта корисної дії η від зміни витрат Q . Ці графіки називають робочими характеристиками насоса. Характеристика H - Q називається головною.

Аналітичні способи побудови характеристик дуже трудомісткі і не дають надійних результатів, тому їх будують дослідним шляхом при випробуванні насосів.

У процесі випробування відцентрового насоса змінюють положення нагнітальної засувки від повного закриття до повного відкриття (при $n = \text{const}$ і за допомогою відповідних приладів вимірюють витрату Q , напір H , потужність N . Потім будують відповідні точки в координатах ($Q; H$, ($Q; N$, ($Q; \eta$, з'єднують їх і так отримують графіки.

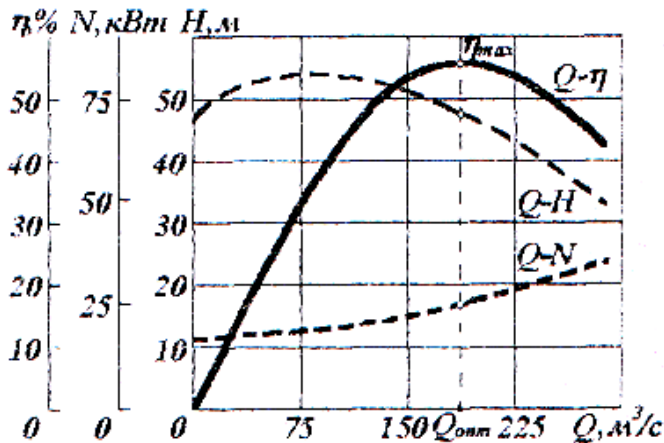


Рис. 8.1 Робочі характеристики відцентрового

Як правило, три робочі характеристики суміщають на одному графіку. Потім встановлюють оптимальний режим роботи насоса, при якому ККД буде максимальним, тобто значення Q , H і N відповідають найвигіднішим умовам роботи насоса. Напір і витрату при оптимальному ККД називають оптимальними.

При експлуатації відцентрового насосу треба прагнути до того, щоб режим його роботи був близьким до оптимального.

Характеристика установки

Лабораторна установка складається з таких основних елементів: резервуарів 5, 11 для живлення водою установки; відцентрового насосу 15; електроприводу електричного двигуна - 1, муфти -16 та кнопкової станції - 2; трубопроводу; запірних пристроїв 4, 8, 13; вимірювальних приладів 3, 6, 9, 14.

Відцентровий насос 15 «Супер 1» приводиться в дію трифазним асинхронним двигуном І. Рідина, під час дії відцентрового насосу, з «живлячо-приймального»

резервуара 11 рухається по всмоктувальному трубопроводу 12, через насос 15, напірний трубопровід 8 та диференційний манометр 9.

Для керування запуском та роботою лабораторної установки використовують клапан 13, розташований на всмоктуючому, та клапан 7 на напірному трубопроводах.

Малий резервуар 5 призначений для наповнення насоса 15 водою перед запуском.

Для вимірювання потужності, яку споживає двигун, використовують ватметр 3, ціна поділки якого – 20 Вт/од.

Для вимірювання надлишкового тиску в напірному трубопроводі 8 використовують пружний манометр 6, а для вимірювання вакууму у всмоктувальному трубопроводі 12 – вакуумметр 14.

Диференційний манометр 9, призначений для вимірювання витрат рідини даного трубопроводу; має розміри $d_1=30$ мм, $d_2=18$ мм та коефіцієнт витрат – $\mu=0,62$.

Відстань по вертикалі від місця приєднання вакуумметра 14 до осі стрілки пружного манометра 6 становить – $\Delta z=22$ см.

Асинхронний електродвигун 1 має паспортну частоту обертання – $n=2900$ об/хв та коефіцієнт корисної дії – $\eta = 75 \%$.

«Живлячо-приймальний» резервуар 11 наповнюється водою з водопровідної мережі через клапан 10.

Порядок виконання роботи

1. Згідно відомостей про лабораторну установку (Рис. 8.2 у звітну таблицю 1 записати постійні величини.

2. Перевірити стан готовності установки до виконання роботи:

- клапан 13 на всмоктувальному трубопроводі 12, в положенні - «Закрито»;
- клапан 7 на напірному трубопроводі 8, в положенні -

«Закрито»;

- кран 4 малого резервуару 5, в положенні -

«Закрито».

3. Відкрити кран 10 водопровідної мережі та наповнити "живлячо-приймальний" резервуар 11 так, щоб отвір підключення всмоктуючого трубопроводу 12 був затоплений не менш ніж на 20 см.

4. Наповнити водою малий резервуар 5.

5. Закрити кран 10 водопровідної мережі.

6. Відкрити кран 4 малого резервуару 5 і наповнити робочу порожнину відцентрового насосу 15 водою.

7. Закрити кран 4 малого резервуару 5.

8. За допомогою пускової кнопки 2 підключити двигун 1 до електромережі ~ 380 В.

9. Одночасно із запуском насоса 15 повністю відкрити кран 13 на всмоктувальному трубопроводі 12.

Увага! Якщо при відкриванні крану 13 стрілка пружного манометра 6 не піднялася до позначки " 0 кгс/см^2 ", то необхідно відключити від електромережі двигун 1 і повторити запуск насоса згідно пунктів 6 ÷ 9.

10. Якщо стрілка пружного манометра 6 знаходиться в межах позначки " 0 кгс/см^2 " (краще за позначкою), то поступово відкривати вентиль крана 7 на напірному трубопроводі 8 поки не встановиться напірний потік води з напірного трубопроводу 8 у резервуар 11.

Увага! При відкриванні крану 7 на напірному трубопроводі 8 необхідно слідкувати за перепадом висот Δh в дифманометрі 9. Для початку дослідів бажано, щоб він не перевищував $\Delta h = 5 \div 8$ см. Якщо перепад висот Δh буде більшим, то кран 7 на напірному трубопроводі 8 необхідно трішки закрити до рекомендованого перепаду.

11. Після запуску відцентрового насоса 15 необхідно зняти покази з пружного манометра 6, вакуумметра 14,

диференційного манометра 9, ватметра 3 і отримані дані занести до звітної таблиці 8.1.

Увага! Покази ватметра 2 записувати по верхній шкалі ціна поділки приладу – 20 Вт/под.

12. Поступово відкривати кран 7 на нагнітальному трубопроводі 8 і записати покази вимірювальних приладів 3, 6, 9, 14 - виконати 8÷10 вимірювань.

13. Після закінчення вимірювань вимкнути електричний двигун 1.

14. Відкрити крани – 4, 7 і 13.

При обчисленні необхідних величин треба скористатись наступними залежностями: Постійна диференційного манометра - C:

$$C = \mu \cdot S_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2}}$$

Витрати насоса – Q:

$$Q = C \sqrt{\Delta h};$$

Напір насоса – H_H :

$$H_H = \Delta Z + H_{\text{вак}} + H_{\text{ман}};$$

Потужність, яку споживає насос - $N_{\text{сп}}$:

$N_{\text{сп}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{дв}}$; Корисна потужність насоса - $N_{\text{кор}}$:

$N_{\text{кор}} = \gamma \cdot Q \cdot H_H$; Коефіцієнт корисної дії насоса - η :

$$\eta = \frac{N_{\text{кор}}}{N_{\text{сп}}}$$

Манометр та вакуумметр вимірюють величину тиску в $[\text{кгс/см}^2]$, у роботі необхідно оперувати розмірністю $[\text{м. вод. ст.}]$, тому слід врахувати, що:

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 98067 \text{ Па. } 1 \text{ Па} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м. вод. ст.}$$

Питання для самоконтролю

1. На якому принципі діє відцентровий насос та, які його основні конструктивні елементи ?

2. Чим викликані вимоги обов'язкового закриття напірного вентиля і заповнення робочого простору рідиною?

3. Які основні параметри і, як характеризують роботу відцентрового насосу?

4. Чим відрізняється універсальна характеристика від робочої?

5. Наведіть приклади використання відцентрових насосів у техніці.

Завдання до роботи

1. Користуючись літературою, з'ясуйте теоретичні питання теми лабораторної роботи та дайте відповіді на питання для самоконтролю.

2. Ознайомтесь з розв'язком задач 1 і 2 та розв'яжіть задачі 3, 4, і 5.

3. Ознайомтесь з будовою та принципом роботи лабораторної установки.

4. Намалюйте схему лабораторної установки.

5. Накресліть звітну таблицю 8.1.

6. Проведіть вимірювання та обчислення величин згідно порядку виконання роботи.

7. В одній системі координат побудуйте графік залежності $H_n=f(Q)$; $N_{сп}=f(Q)$; $\eta=f(Q)$.

8. Складіть звіт про роботу.

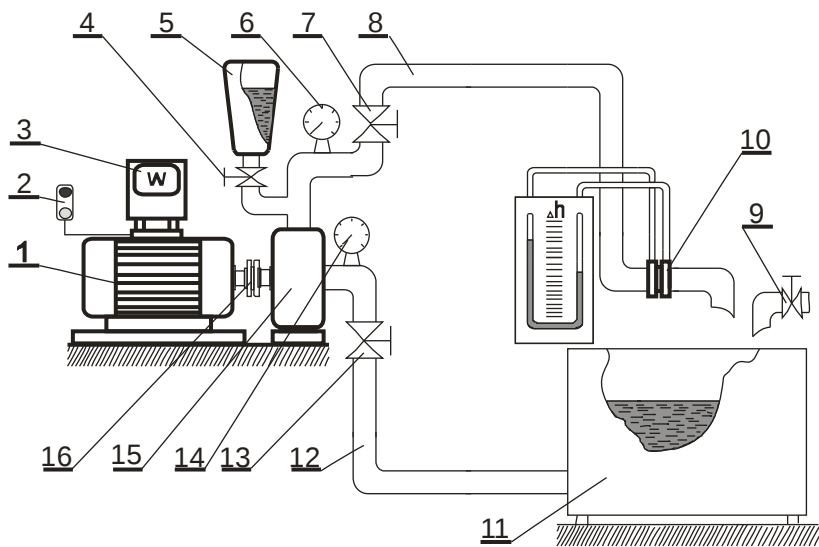


Рис. 8.2 Схема лабораторної установки

Звітна таблиця 8.1.

[illegible]

Завдання для самостійної роботи

Серед динамічних насосів головними є відцентрові. В них передача потужності від двигуна до рідини відбувається в процесі руху її по міжлопатевих каналах робочого колеса, яке швидко обертається.

При розв'язанні задач, які стосуються відцентрових насосів, теоретичний напір (при $Z \rightarrow \infty$) знаходять за формулою

$$H_{m\infty} = \frac{1}{g} (\vartheta_2 \vartheta_{2u} - \vartheta_1 \vartheta_{1u})$$

де $\vartheta_2 \vartheta_1$ – колова швидкість робочого колеса на виході і вході;

$\vartheta_{2u} \vartheta_{1u}$ – колові складові абсолютних швидкостей на вході і виході з колеса.

При відсутності попередньої закрутки потоку на вході в колесо ($\vartheta_{1u} = 0$ напір визначають за формулою:

$$H_{m\infty} = \frac{\vartheta_2 \vartheta_{2u}}{g}$$

Якщо в цей вираз підставити Q , то

$$H_{m\infty} = \frac{\vartheta_2}{g} \vartheta_2 - \frac{Q \operatorname{ctg} \beta}{2\pi r_2 b_2},$$

де r_2, b_2 – радіус і ширина колеса на виході;

β – кут між дотичною до лопаті на виході з колеса і дотичною до кола колеса.

Дійсний напір рекомендується шукати за формулою:

$$K_z = \frac{1}{1 + \frac{z \sin \beta_2}{z \left[1 - \left(\frac{r_1}{Z_2} \right)^2 \right]}},$$

де Z – число лопатей;

r_1 – радіус кола вхідних кромek лопатей;

Повний (загальний) к.к.д. відцентрового насосу знаходять за формулою:

$$\eta = \eta_r \eta_o \eta_m,$$

$$\text{або } \eta = \frac{Q_m H_H}{N_{\text{спож}}} = \frac{Q P_H}{M \omega}$$

При підготовці до лабораторної роботи ознайомтесь з розв'язком задач 1, 2, та розв'яжіть задачі 3, 4, і 5.

Задача 1

Визначити необхідний напір для відцентрового насосу, який подає воду з колодязя у водонапірний бак. Вакууметрична висота всмоктування насоса $H_{\text{вак}} = 4$ м, геометрична висота всмоктування $H_{\text{г.в.}} = 3$ м, геометрична висота нагнітання $H_{\text{г.н.}} = 15$ м, витрата води $Q = 7$ л/с, вільний напір повинен бути не менше 2 м. Температура води $t = 15^\circ\text{C}$. Довжина всмоктувального трубопроводу 8 м, нагнітального 26 м.

Розв'язання. Всмоктуючий трубопровід.

Задаємо швидкість $v = 1$ м/с і визначаємо діаметр труби:

$$d = 35,7 \sqrt{Q/v} = 35,7 \sqrt{7/1} = 94 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр 100 мм

Фактична швидкість

$$v = \frac{4 \cdot 0,007}{3,14 \cdot 0,1^2} = 0,9 \text{ м/с}$$

З таблиць визначаємо $A = 0,0002674$ і $k_1 = 1,04$,

$$h_e = k_1 A Q^2 = 1,04 \cdot 0,0002674 \cdot 7^2 \cdot 8 = 0,11 \text{ м}$$

Місцеві опори:

всмоктувальний клапан – $\zeta = 7$

коліно при радіусі закручення $R = 3d - 0,5 - \sum \zeta = 7,5$.

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,9^2}{19,62} = 0,0414 \text{ м}$$

$$h_{\text{втрат}} = \sum \zeta h_v = 7,5 \cdot 0,0414 = 0,315 \text{ м};$$

Сумарна втрата напору у всмоктувальний трубі

$$h_{втрат} = 0,11 - 0,315 = 0,425 \text{ м.}$$

Оскільки температура води менше 20°C, то тиск насиченої водяної пари не враховується.

Розрідження у всмоктувальний трубі

$$H_{вак} = H_{з.в.} + h_{втрат} = 3 + 0,425 = 3,43 \text{ м} < 4 \text{ м}$$

Всмоктування насосом забезпечується.

Нагнітальний трубопровід

Приймаємо діаметр трубопроводу 80 мм, тоді

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi d^2}; v = \frac{4 \cdot 0,007}{3,14 \cdot 0,08^2} = 1,4 \text{ м/с.}$$

З таблиці $A = 0,01168$

$$A Q^2 l = 0,01168 \cdot 7^2 \cdot 26 = 1,42 \text{ м.}$$

Місцеві опори:

- засувка – $\zeta = 0,5$

- два коліна – $\zeta = 0,5 \cdot 2 = 1$

- $\sum \zeta = 1,5$.

$$h_g = \frac{1,4^2}{19,62} = 0,1 \text{ м, } h_m = 1,5 \cdot 0,1 = 0,15 \text{ м;}$$

$$h_{втрат} = 1,42 + 0,15 = 1,57 \text{ м.}$$

Необхідний напір для нагнітання

$$H_n = h_{втрат} + H_{в.н.} = 1,57 + 2 = 3,57 \text{ м.}$$

Повний напір, який створює насос

$$H = H_{вак} + H_n = 3,43 + 3,57 = 6,99 \text{ м вод. ст.}$$

Задача 2

Насос повинен забезпечити продуктивність не менше 75,5 м³/год при напорі 45,3 м. Визначити який насос може задовільнити ці умови роботи.

Користуючись каталогом, приймаємо стандартне число обертів електродвигуна – 2900 об/хв. Необхідна подача 0,021 м³/с. Знайдемо коефіцієнт швидкості насоса

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} = \frac{3,65 \cdot 2900\sqrt{0,021}}{\sqrt[4]{45,3^3}} = 157 \text{ об/хв.}$$

Насос відноситься до відцентрового типу з нормальним робочим колесом.

Задача 3

Виберіть відцентровий насос, який би задовольнив такі умови роботи:

вакууметрична висота всмоктування	$H_{\text{вак}} = 3 \text{ м}$
геометрична висота всмоктування	$H_{\text{г.в.}} = 2 \text{ м}$
геометрична висота нагнітання	$H_{\text{г.н.}} = 14 \text{ м}$
витрата води	$Q = 10 \text{ м}^3/\text{с}$
вільний напір	$H_{\text{в.н.}} = 1,5 \text{ м}$
температура води	$t = 20^\circ\text{C}$
довжина всмоктувального патрубку	$l = 6 \text{ м}$
довжина нагнітального патрубку	$L = 20 \text{ м}$

Задача 4

Знайдіть потужність електродвигуна N , якщо відцентровий насос має такі дані: $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 50 \text{ м}$, $\eta_n = 0,7$, $\eta_p = 0,9$, $\rho_{\text{рідини}} = 1000 \text{ кгс/м}^3$.

Задача 5

Відцентровий насос системи охолодження двигуна має робоче колесо діаметром $D_2 = 200 \text{ мм}$ з 7 радіальними лопатями ($\beta_2 = 90^\circ$); діаметр кола входу $D_1 = 100 \text{ мм}$. Яке число обертів треба надати валу насоса при роботі на воді для отримання тиску $p = 0,2 \text{ Па}$? Гідравлічний к.к.д. насоса $\eta = 0,7$.

ЛІТЕРАТУРА

Афтанділянц Є.Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Частина 2. Київ:2017, с.123.С 87-104

Бодрова Л.Г Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство Тернопіль:2023 с.156

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум.-Чернігів: с.133-151.

Гетта В.Г. Технологія конструкційних матеріалів.- Чернігів: 2001, с.28-35.

Гетта В.Г. Металознавство і зварювання Чернігів:2009,с.300

Літовченко П.І. Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Харків:2016,с.301

Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. - Львів: Світ, 2006, с.624.