

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

ГІДРАВЛІКА, ГІДРО - ТА ПНЕВМОПРИВОДИ

Методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання
за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт

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

Кропивницький, 2023

Гідравліка, гідро та пневмоприводи: методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання за спеціальності 274 Автомобільний транспорт / [уклад. :Т. В. Руденко, Ю. В.. Кулешков] : Мін-во освіти та науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. Експлуатації та ремонту машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 50 с.

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

Рецензент: *Красота М.В.*

©*Т.В. Руденко, Ю.В. Кулешков*

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

1.ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

2. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

2.1. Домашня підготовка до лабораторних робіт.

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

лабораторної роботи і розуміння суттєвості експерименту.

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

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

2.1.4. Підготувати бланк лабораторного звіту, в якому необхідно записати назву, мету і короткий зміст роботи, накреслити схему лабораторної установки, підготувати таблицю для запису протоколу лабораторного експерименту.

2.2 Виконання роботи в лабораторії.

Правила виконання лабораторної роботи:

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

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

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

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

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

2.2.6. По закінченні роботи належить вимкнути всі джерела енергоживлення.

2.3. Оформлення звіту.

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

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

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

2.3.4. На лабораторних заняттях студент повинен при собі мати:

– методичні вказівки до лабораторних робіт;

- конспект лекцій ;
- протокол лабораторної роботи; калькулятор;
- олівці, лінійку та міліметрівку(при необхідності).

2.4. Захист лабораторної роботи.

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

3.ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

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

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

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

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

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

- не торкатися до неізольованих дротів, з'єднувальних затискачів та інших частин електричних ланцюгів, які знаходяться під струмом;
- не вмикати стенди і обладнання, які не належать до виконуваної роботи;
- не вмикати вимикачі електричних двигунів без дозволу викладача або лаборанта;
- бути обережним при роботі з агрегатами, що обертаються, особливо при вимірюванні швидкості їх обертання;
- щоб уникнути нещасних випадків, одяг повинен щільно прилягати до тіла;
- при роботі з гідравлічними системами, які знаходяться під тиском,

належить пам'ятати, що не виключена можливість прориву рідини під тиском, в зв'язку з чим при експерименті необхідно знаходитись за огорожуючим кожухом;

– не торкатись частин електричних та гідравлічних машин, котрі рухаються;

– якщо станеться нещасний випадок, електричну і гідравлічну установки треба вимкнути, а потерпілому надати допомогу;

– негайно повідомити викладачу (лаборанту) про помічене зіпсоване обладнання і порушення правил безпеки.

4. ПОХИБКА ВИМІРЮВАНЬ

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

4.1. Абсолютна похибка вимірювання.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2. Середньоарифметичне вимірювання.

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

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

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

4.3. Середньоквадратична похибка вимірювання.

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

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

n – число вимірювань.

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

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

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

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

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

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

5. СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ І ПОЗНАЧЕННЯ

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

Таблиця 1

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ КРАПЛИННИХ РІДИН

Мета роботи.

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

Таблиця 1.1

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

1.1. Зміст роботи

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

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

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

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

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

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

Площа внутрішньої поверхні:

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

– для квадратної: $S = 4a \cdot l$;

– для прямокутної: $S = 2(a + b) \cdot l$;

μ – динамічна в'язкість рідини, Н·с/м².

У гідравлічних розрахунках частіше використовують кінематичний коефіцієнт в'язкості:

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

де ρ – густина рідини.

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

Таблиця 1.2

Основні одиниці вимірювання коефіцієнтів в'язкості

Коефіцієнт в'язкості	Система одиниць вимірювання коефіцієнтів в'язкості	
	СГС	СІ
динамічний	П (пуаз) → [] сП (сантипуаз) 1сП=10 ⁻² П 1сП=10 ⁻³ Па·с	1 1 10 ³ сП
кінематичний	Стокс сСт(сантискс) → 1 сСт=10 ⁻² Ст 1сСт= 10 ⁻⁶ м ² /с	1

1.2. Обладнання.

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

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

В техніці знайшли широке розповсюдження віскозиметри з витіканням рідини через малий отвір. На рис. 1.1 зображена схема віскозиметра Енглера, який складається з латунного резервуару 2, вміщеного у водяну баню. В дні резервуару є втулка із каліброваним отвором $d=2,8$ мм. Отвір закривається стержнем 4. Рідину, яка досліджується 3 заливають у резервуар 2 до вістря гачків 6, розташованих в середині резервуару, які забезпечують постійний об'єм 200 см³. Вода, яка заповнює простір між резервуарами 1 і 2, підігрівається електронагрівачем 8, а температура

дослідної рідини і води контролюється термометрами 5 і 10. У зовнішньому резервуарі на спеціальному кронштейні встановлена мішалка 7 для перемішування води, що допомагає рівномірному нагріву рідини до заданої температури.

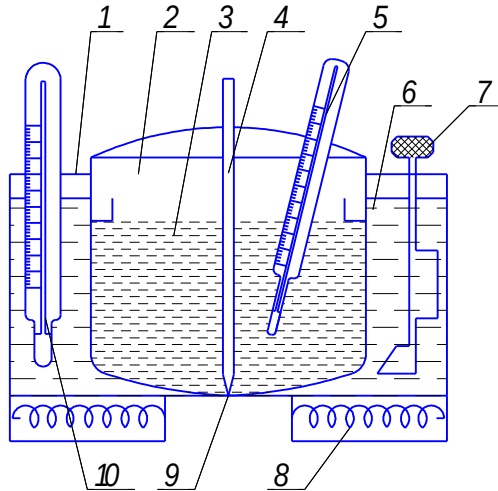


Рис. 1.1. Віскозиметр Енглера

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

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

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

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

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

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

1.3. Порядок проведення експерименту.

1.3.1. Заповнити водою зовнішній резервуар,

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

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

1.3.4. Тумблером на панелі увімкнути електронагрівачий прилад.

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

1.3.6. Після зрівняння температури на двох термометрах зняти їх показання. Потім обережно висунути стержень і секундоміром заміряти час витікання 200 см³ рідини, попередньо підставивши під отвір мірну колбу.

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

1.3.8. Після закінчення експерименту робоче місце прибрати.

1.4. Обробка експериментальних даних.

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

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

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

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

Таблиця 1.3

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

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

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

де ρ_t – густина масла при температурі t ;

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

β_t – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ГІДРОСТАТИКИ

Мета роботи.

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

2.1. Зміст роботи

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

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

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

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

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

$$P_{\text{вак}} = -P_M \quad (2.3)$$

тобто вакуум можна розглядати як від'ємний манометричний тиск.

На рис. 2.1 можна бачити відносне розташування вищезгаданих тисків.

Лінія тиску більшого від атмосферного ($P > P_a$)

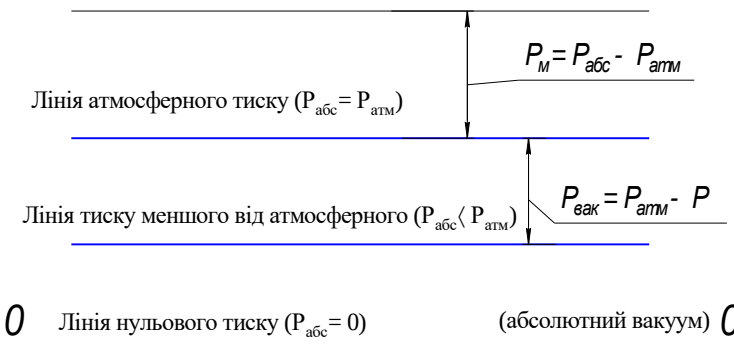


Рис. 2.1 Види тиску

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

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

1. Прилади для вимірювання атмосферного тиску $P_{\text{атм}}$ - барометри.

2. Прилади для вимірювання різниці абсолютного та атмосферного тисків, тобто надлишкового тиску $P_{\text{м}}$, і розрідження $P_{\text{в}}$. Прилади, що вимірюють надлишковий тиск, називають манометрами, а прилади, що вимірюють розрідження - вакуумметрами. Прилад, за допомогою якого можна вимірювати як надлишковий тиск, так і розрідження, називають мановакуумметрами.

3. Прилади для вимірювання абсолютного тиску $P_{\text{абс}}$ - манометри абсолютного тиску. Манометри абсолютного тиску зазвичай застосовують для вимірювання малих абсолютних тисків.

4. Прилади для виміру різниці тисків - диференційні манометри.

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

За принципом дії манометри і вакуумметри поділяються на такі групи:

– рідинні, що вимірюють тиск по висоті стовпа робочої рідини, що врівноважує;

– механічні, що вимірюють тиск за деформацією пружних елементів приладів (пружини або мембрани);

– поршневі, що вимірюють тиск за допомогою навантаженого відомою силою поршня, що переміщається в циліндрі;

– електричні, принцип дії яких заснований на пропорційності між зміною електричного опору провідників і зміною розміру тиску.

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

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

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

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

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

У техніці найбільше поширені пружинні манометри і вакуумметри. Вони володіють низкою переваг: шкала їх зручна для спостереження, вони достатньо

прості за конструкцією, надійні в роботі, мають невеликі розміри, широкі межі діапазону значень до 50000 кгс/см^2 і вакууму до 760 мм рт. ст.

Встановлено такі класи точності приладів для вимірювання тиску:

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

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

2.2. Одиниці виміру тиску.

У системі СІ за одиницю тиску прийнято $1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ Па}$. Ця одиниця дуже мала, тому частіше використовують $1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}$; $1 \text{ МПа} = 1000000 \text{ Па}$; $1 \text{ бар} = 100000 \text{ Па}$.

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

$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10 \text{ дин/см}^2 = 0,102 \text{ кГ/м}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.} = 0,102 \text{ мм. вод. ст.}$

Необхідно запам'ятати наступні співвідношення:

$1 \text{ кГ/см}^2 = 9,81 \text{ Н/см}^2 = 98100 \text{ Па} = 735,6 \text{ мм. рт. ст.} = 10 \text{ м. вод. ст.} = 0,98 \text{ бар}$.

2.3. Обладнання.

У лабораторії гідравліки є спеціальний стенд, на якому розташовані різні прилади для вимірювання тиску, а для демонстрації закону Паскаля установка (рис. 2.2), яка містить в собі вертикальний циліндр 1, з пристроєм для подачі води 2 і виміру рівня води 3. По висоті циліндра на трьох рівнях розташовані манометри M_1 , M_2 , M_3 . До кришки циліндра приєднаний трубопровід 4 для подачі стислого повітря і створювання надлишкового тиску на вільній поверхні води. Вентиль 5 дозволяє зменшити тиск на поверхні води.

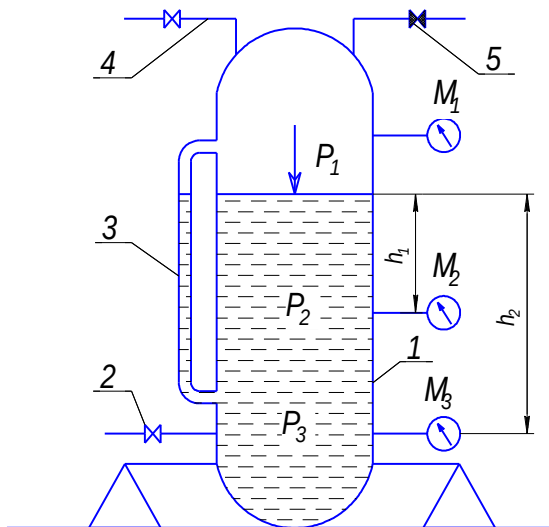


Рис. 2.2 Установка для перевірки закону Паскаля

2.4. Порядок проведення експерименту

2.4.1. Ознайомитись з конструктивними особливостями приладів для вимірювання тиску.

2.4.2. Виміряти атмосферний тиск барометром.

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

2.4.4. Результати вимірювань занести у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

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

2.4.5 Поміряти висоту h_1 і h_2 стовпа води у циліндрі

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

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

2.4.8. Результати вимірювання занести у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

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

2.5. Обробка експериментальних даних.

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

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

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

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

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

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ РІДИНИ

Мета роботи. 1.

1. Дослідним шляхом встановити наявність двох режимів течії рідини.

2. Визначити за дослідними даними числа Рейнольдса при ламінарному та турбулентному режимах.

3.1. Зміст роботи

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

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

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

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

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

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

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

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

Основні ознаки режимів руху рідини можна представити у вигляді таблиці:

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

3.2 Обладнання.

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

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

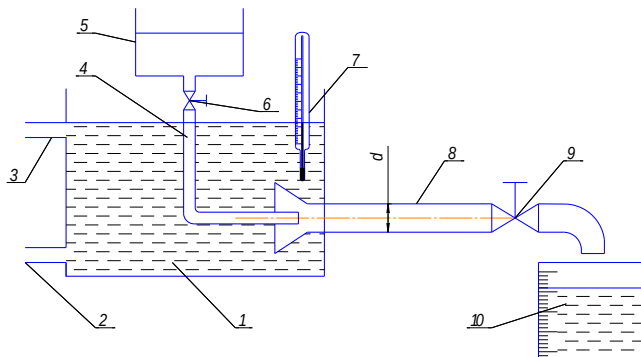


Рис. 3.1 Установка для спостереження режимів руху рідини

3.3 Порядок проведення експерименту.

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

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

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

3.4 Обробка експериментальних даних.

Для кожного дослідження необхідно обчислити:

1. Витрати води за формулою

$$Q = W/t, \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Середню швидкість

$$V = 4Q/\pi d^2, \text{ м/с}$$

3. Число Рейнольдса

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

4. Отримані результати занести у таблицю 3.1

Таблиця 3.1

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

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

ЛАБОРОТОРНА РОБОТА № 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РІВНЯННЯ Д. БЕРНУЛЛІ

Мета роботи.

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

4.1. Зміст роботи.

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

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

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

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

P – тиск;

ρ – густина рідини;

g – прискорення вільного падіння;

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

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

V – середня швидкість потоку в перерізі;

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

1. рух рідини повинен бути усталеним;
2. потік повинен бути плавномірним, безінерційним і безвихровим;

3. рух рідини здійснюється без енергообміну із зовнішнім середовищем.

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

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

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

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

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

Z – геометрична висота (геометричний напір);

$P/\rho g$ – п'єзометрична висота;

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

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

Рівняння Бернуллі є наслідком закону збереження енергії.

Тому з енергетичної точки зору складові рівняння означають:

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

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

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

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

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

рідини в даному перерізі.

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

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

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

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

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

ω_1, ω_2 – площа перерізів.

4.2. Обладнання

Трубопровід змінного перерізу 3 (рис.4.1) складається з декількох труб послідовно з'єднаних між собою. Відстань між перерізами $L_1=120$ мм, $L_2=335$ мм, $L_3 = 455$ мм, діаметри труб $d_1=40$ мм, $d_2 = 25$ мм, $d_3 = 40$ мм. В ряді перерізів встановлені п'єзометричні трубки 4 і трубки Піто 5, які прикріплені на спеціальний щит. Вода подається в напірний бак 1 відцентровим насосом. Рівень води у напірному баці підтримується за допомогою холостого зливу 2. Вентиль 7 регулює витрату води у трубі. Для вимірювання витрати води встановлено диференціальний манометр, який вимірює різницю тиску на тарованому коліні 8.

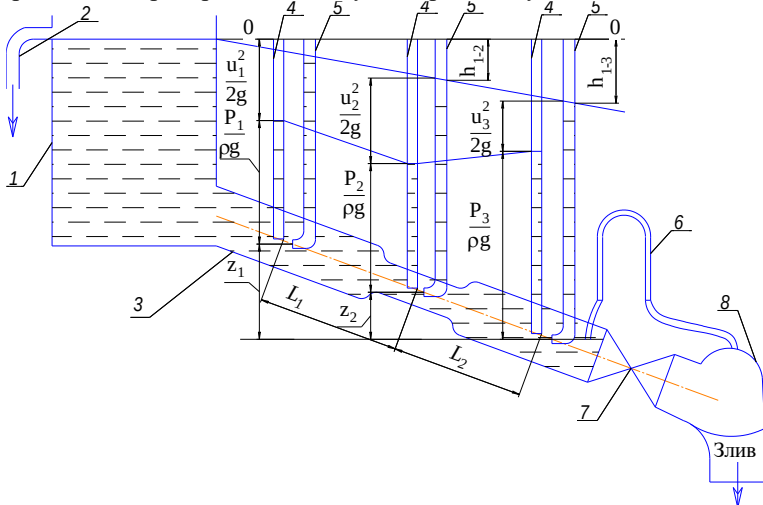


Рис. 4.1 Установка для перевірки рівняння Д.Бернуллі

4.3. Порядок проведення експерименту.

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

4.3.2. Увімкнути відцентровий насос для заповнення напірного бака водою.

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

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

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

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

4.4. Обробка експериментальних даних.

4.4.1. Розрахувати середні швидкості у трьох перерізах за формулою:

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

4.4.2. Розрахувати число Рейнольдса за формулою:

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

4.4.3. Розрахувати швидкісний напір за формулою:

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

4.4.4. Розрахувати повну питому енергію за формулою:

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

і порівняти її з показами трубок Піто.

4.4.5. Розрахувати втрату напору між перерізами.

$$h_{01-2} = E_1 - E_2; h_{02-3} = E_2 - E_3; h_{01-3} = E_1 - E_3, \text{ м}.$$

Таблиця 4.1.

Результати вимірів і розрахунків

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

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

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРАВЛІЧНОГО ТЕРТЯ

Мета роботи.

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

5.1. Зміст роботи.

Розрізняють два види втрат напору:

- втрати по довжині
- втрати на місцевих опорах.

Таким чином, загальні втрати напору визначаються за формулою:

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

Втрати напору по довжині трубопроводу обумовлюються роботою сил тертя. При русі рідини вони розподіляються рівномірно по довжині трубопроводу

постійного перерізу й збільшуються пропорційно до довжини труби. Згідно рівняння Д. Бернуллі втрати напору по довжині визначаються таким чином

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

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

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

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

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

де λ – коефіцієнт Дарсі (коефіцієнт гідравлічного тертя);

L – довжина ділянки труби;

d – діаметр трубопроводу;

V – середня швидкість потоку;

g – прискорення вільного падіння.

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

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

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

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

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

Аналізуючи графіки Нікурадзе (рис.5.1) можна виділити характерні області (1, 2, 3, 4), у межах кожної з яких залежність коефіцієнта λ від числа Рейнольдса та відносної еквівалентної шорсткості носить свій особливий характер.

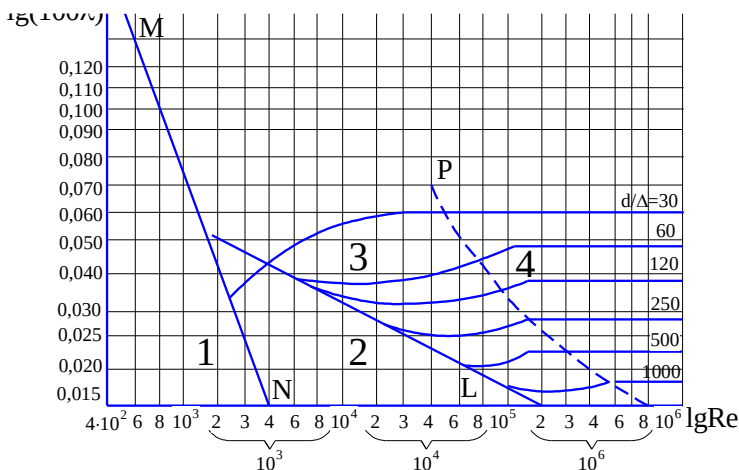


Рис. 5.1 Графік Нікурадзе

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

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

Межею цієї області є число $Re = 2320$.

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

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

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

3 – область між лініями KL і АВ – *перехідна область*. У цій області в міру збільшення швидкості товщина ламінарної плівки на стінці труби зменшується, частково відкриваючи виступи шорсткості. На цих відкритих виступах спостерігаються зриви потоку й утворюються вихрові ядра. У такому потоці втрати

напору обумовлюються як шорсткістю стінок труби, так і силами в'язкості рідини, тобто числом Рейнольдса.

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

Для перехідної області найбільшого поширення у вітчизняній практиці по визначенню коефіцієнта λ одержана універсальна формула А.Д. Альтшуля:

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

де k_e – висота еквівалентної шорсткості;

d – діаметр трубопроводу.

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

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

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

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

(5.7) для цієї області перетворюється в формулу Шифрінсона

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

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

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

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

5.2. Обладнання.

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

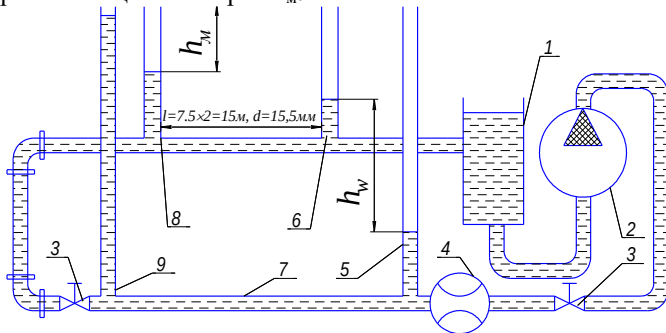


Рис. 5.2 Установка для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя

Прилад для вимірювання витрати води вимірює об'єм води, який проходить крізь переріз труби 7 за проміжок часу (за секундоміром).

5.3. Порядок проведення експерименту.

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

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

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

5.3.4. Виміряти температуру води.

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

5.4. Обробка експериментальних даних.

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

5.4.2. Розрахувати витрату води, m^3/c :

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

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

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

5.4.4. Розрахувати втрати по довжині, м:

$$h_o = h_w - h_m$$

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

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

де L - довжина експериментальної ділянки складає 15 м.

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

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

5.4.8. Знайти відхилення між розрахунковим і дослідним

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

значеннями λ у відсотках

Пояснити розходження між ними.

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

Таблиця 5.1

№ п/п	W м³	t, с	h _w , м	h _m , м	Q, м³/с	V, м/с	Re	h _д , м	λ _о	λ _р	δ _λ
1											
2											
3											

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІНІЙНОГО ГІДРОПРИВОДУ В СХЕМАХ З ПОСЛІДОВНОЮ УСТАНОВКОЮ ДРОСЕЛЯ

Мета роботи.

Ознайомитись з принципами регулювання швидкості переміщення робочого органу гідравлічного лінійного приводу та вивчення динамічних характеристик приводу в схемах з послідовною установкою дроселя.

6.1 Зміст роботи.

Ознайомитись з принципами синтезу гідравлічних схем. Скласти схему регулювання швидкості руху поршня гідроциліндра на універсальному стенді "Festo".

Зняти динамічні характеристики приводу при послідовному встановленні інерційного дроселя на вході і на виході з гідроциліндра.

Експеримент є невід'ємною частиною гідравлічних досліджень. Особливо велике значення експеримент набуває при розгляді завдань, пов'язаних з рухом рідини. При вивченні таких курсів як «Гідравліка, гідро - та пневмопривод», «Механіка рідини і газу», дуже важливо ознайомитись на практиці (лабораторіях) з методикою експериментальних гідравлічних досліджень напірних трубопроводів, конструкціями насосів, гідроприводів і методів їх випробувань. Для цієї мети і призначений даний лабораторний практикум.

Виконання описаних лабораторних робіт з гідравліки, гідравлічних машин і гідроприводів, дозволяє глибше зрозуміти фізичну сутність основних законів гідромеханіки, отримати реальне уявлення про можливості гідромашин і гідроприводів для механізації і автоматизації виробничих процесів і технологій в області обраної спеціальності, а також розібратися в принципах роботи гідромашин і гідроприводів, а також освоїти методи їх випробувань у відповідності з вимогами державних стандартів.

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

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

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

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

I. Опис стенду гідроприводу

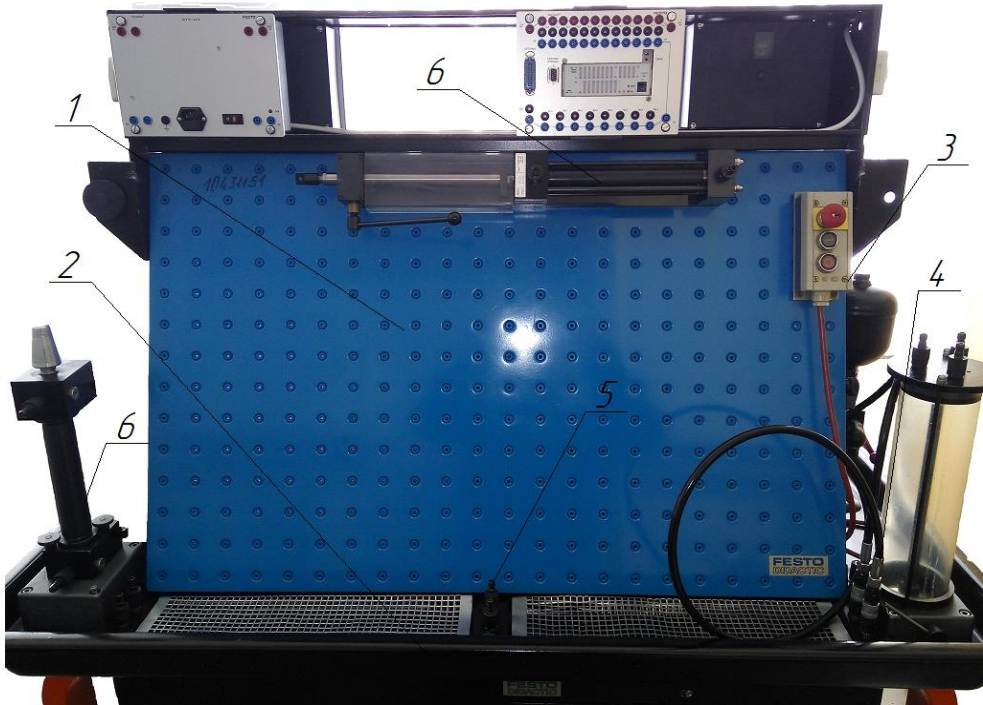


Рис. 6.1. Гідравлічний стенд FESTO

1. Лабораторні роботи виконуються на стенді, до складу якого входить набір змінних гідроапаратів, що монтується на монтажній панелі 1, кінцеві вимикачі, датчики та гнучкі гідравлічні рукави.

2. Стенд (рис.6.1 і 6.2) включає в себе основу, на якому змонтовано монтажну панель 1, насосна установка, блок живлення, пульт керування 3, силових гідроциліндрів 6, напірна лінія 4, зливні лінії 5, які розташовані на піддоні 2.

3. На монтажній панелі 1 розміщують гідравлічні елементи (рис.6.3) за допомогою циліндричних штифтів.



Рис. 6.2. Гідравлічні апарати стенду FESTO

4. Між монтажних панелей стенду розташована насосна установка, яка включає в себе тандем пластинчастинатих насосів, електродвигун, гідроклапан тиску, манометр, маслопоказчика розташованого на масляному баку 2.

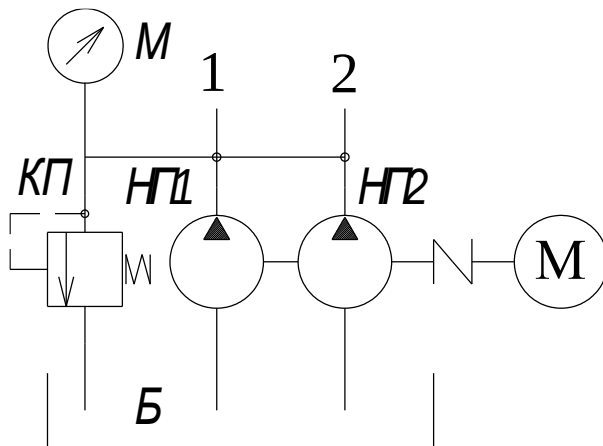


Рис. 6.3 Гідравлічна схема насосної станції

Гідроклапан тиску використовується в гідросистемі як переливний гідроклапан для підтримки заданого тиску шляхом безперервного зливу в бак надлишку робочої рідини під час роботи насоса. Для підключення гідроапаратів до гідросистеми використовуються гнучкі трубопроводи (рис. 6.4).

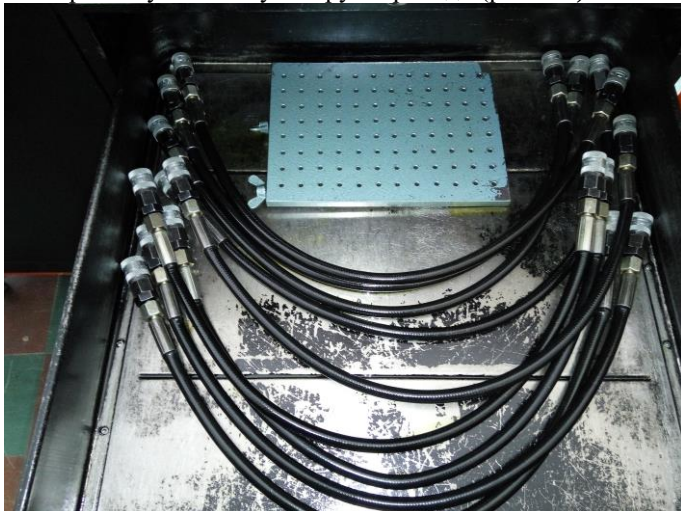


Рис. 7.4 Рукава високого тиску з швидко роз'ємними з'єднаннями

5. Пульт керування призначений для пуску і зупинки електродвигуна насосної установки. Кнопки "пуск" зелена та "стоп" червона призначені для пуску і

зупинки насосної установки. Кнопка аварійної зупинки стенда містить замок який відмикає викладач після того, як переконається в правильності складення схеми.

Гідроциліндри 6 є виконавчими елементами в складених лабораторних роботах. На штоці одного з них є конусна наставка для встановлення на неї вантажу.

6. Монтажна панель 1 містить отвори для встановлення гідравлічних елементів, вимикачів, реле та інш..

7. Під монтажними панелями встановлено гідравлічний бак 2 з піддоном. Масло з піддона, після проведення лабораторної роботи, слід зібрати ганчіркою.

Порядок проведення лабораторних робіт на стенді "Festo"

1. Підберіть змінні гідроапарати та гнучкі рукави згідно завдання лабораторної роботи.

2. Встановіть на монтажній панелі необхідні гідроапарати.

3. З'єднайте гнучкими рукавами гідроапарати згідно принципової гідравлічної схеми. Кожен гнучкий гідравлічний рукав обладнано зворотним клапаном та швидкороз'ємним з'єднанням.

4. Підключіть роз'єм електрогіддорозподільників, кінцевих вимикачів, реле, якщо вони використовуються в даній роботі, до роз'ємів на пульті живлення у відповідності з їх маркуванням. Слід простежити, щоб дроти не зачіпались за гідроциліндр.

5. Перевірте правильність складання схеми і надійність приєднання гідроапаратів.

6. Пред'явіть зібрану схему викладачу для перевірки.

7. Отримавши дозвіл викладача, вимкніть вимикач блоку живлення.

8. Натисканням зеленої кнопки увімкніть насосну установку.

9. Вимкніть зібрану гідравлічну схему у відповідності з описом лабораторної роботи:

– переміщення важеля гіддорозподільника, якщо схемою передбачено ручне управління;

– натисканням кнопки на блоці керування, якщо управління електромагнітне.

10. Перевірте герметичність гідроприводу. В разі появи зовнішніх витоків вимкніть живлення, повідомте про це викладача.

11. Після закінчення роботи натисніть червону кнопку на пульті керування.

Розберіть гідравлічну схему:

– від'єднайте дроти від електрогіддорозподільників та пульта керування.

– зніміть змінні гідроапарати, кінцеві вимикачі та інше обладнання;

– протріть чистою ганчіркою робочу панель стенда та використані елементи.

12. Аварійне відключення стенду здійснюється натисканням великої червоної кнопки "Стоп".

Основні теоретичні положення

Регулювання швидкості руху виконавчих ланок двигунів гідроприводу в основному здійснюється двома способами: регулюванням тиску та регулюванням витрати. Регулювання тиску, здійснюється регульованими клапанами тиску, які встановлюються зазвичай на вході в гідродвигун.

Оскільки швидкість переміщення поршня залежить від сили F , прикладеної до поршня з боку енергетичного середовища, в даному випадку рідини під тиском:

$$F = p \times S, \quad (6.1)$$

де S – площа поршня гідроциліндра.

Тоді, змінюючи тиск, можна змінювати швидкість переміщення поршня гідроциліндра. Проте слід мати на увазі, що цей тиск повинен бути забезпечений відповідною витратою робочої рідини. Зв'язок між потрібним тиском і потрібною витратою завжди існує при регулюванні швидкості і по витраті і по тиску. Тому, говорячи про спосіб регулювання швидкості, маємо на увазі спосіб зміни тиску або витрати безпосередньо відповідним апаратом.

Спосіб регулювання швидкості по витраті здійснюється за допомогою дроселів. Під дроселем розуміють регульований апарат, призначений для підтримки заданої витрати робочої рідини в залежності від перепаду тиску в дроселі. Дроселі за принципом дії поділяються на в'язкісні та інерційні. Основною характеристикою дроселів будь-якого виконання є залежність витрати робочої рідини від перепаду тиску Δp в його порожнинах.

$$Q = \varphi (\Delta p) \quad (6.2)$$

В дроселях в'язкостного опору залежність (2) уточнюється впливом в'язкості і температури рідини, режиму течії, форми і довжини каналу. Для розрахунку перепаду тиску в дроселях з круглим перерізом каналу використовують рівняння Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P_d = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{V^2}{2} [\text{Па}]$$

де l – довжина трубопроводу; d – діаметр трубопроводу; V – швидкість рідини в каналі дроселя; ρ – густина робочої рідини;

λ – коефіцієнт Дарсі.

Для каналів будь-якої форми поперечного перерізу:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{4R} \frac{\rho V^2}{2}$$

де R – гідравлічний радіус, що дорівнює відношенню площі поперечного перерізу дроселя до його периметру.

В дроселях інерційного опору використовують особливості витікання рідини через отвори з гострими кромками, що характеризуються незалежністю перепаду тиску та витрати від в'язкості, внаслідок турбулентного режиму течії рідини в каналі дроселя. Завдяки цьому виключається вплив температури рідини на витратні характеристики пристрою. Витрата рідини через такий дросель визначається з виразу:

$$Q = \mu S \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (6.4)$$

де S - площа поперечного перерізу дроселя (м^2);

Δp – перепад тиску на дроселі (до і після дроселя) (Па);

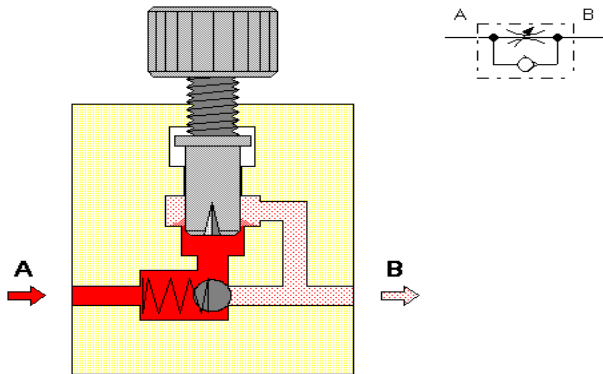
μ - коефіцієнт витрати дроселя.

Власне зона регулювання поперечного перерізу (збільшення або зменшення) конструктивно, представляє собою регульований місцевий опір, тому перепад тиску на дроселі визначається за формулою втрат тиску в місцевому опорі - рівнянням Борда.

$$\Delta p = \xi \frac{\rho V^2}{2}$$

де ξ - коефіцієнт місцевого опору конкретного запорного елемента інерційного дроселя;

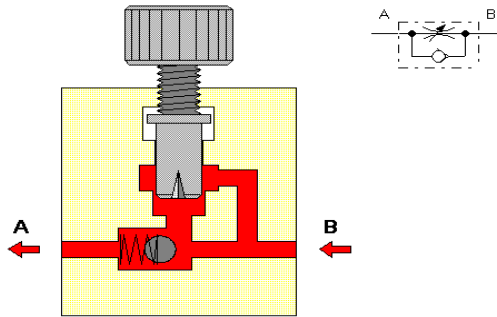
V - швидкість руху рідини в дроселі (м/с).



One-way flow control valve

Рис. 6.5 Регульований дросель із зворотним клапаном

а) прямий рух



One-way flow control valve

Рис. 6.5 Регульований дросель із зворотним клапаном
б) зворотній рух

На рисунку 6.5 представлено дросель із зворотним клапаном. При русі рідини від каналу А до В, зворотний клапан закривається і рідина рухається тільки через дросель (рис. 6.5 а). Коли рідина рухається від каналу В до А, зворотний клапан відкривається і рідина в цьому випадку рухається через зворотний клапан та дросель (рис. 6.5 б).

Дросель в схемах регулювання швидкості може бути встановлений послідовно і паралельно по відношенню до гідродвигуна. На рисунку 6.6 представлена схема установки з послідовним встановленням дроселя: а) - на вході, б) - на виході.

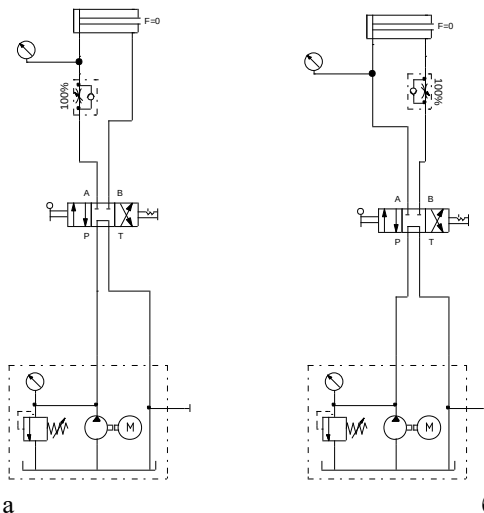


Рис. 6.6 Гідравлічна принципова схема приводу

Аналіз рівняння (6.4) говорить про те, що зменшення перерізу дроселя S при його встановленні на вході веде до зменшення витрати робочої рідини, а досвід показує, що і тиск за дроселем також знижується, отже, все це призводить до зменшення швидкості руху поршня, оскільки швидкість його переміщення визначається як:

$$V_{\Pi} = \frac{Q}{S_{\text{пор}}} \quad (6.5)$$

де $S_{\text{пор}}$ – площа поршня гідроциліндра (м^2).

Аналіз рівняння 6.4 говорить про те, що залежність швидкості переміщення поршня від ступеня перекриття дросельного отвору буде носити явно нелінійний характер, а очевидно, що і інші динамічні характеристики приводу, як-то витрата, потужність, коефіцієнт корисної дії також будуть нелінійними.

Встановлення дроселя послідовно на виході гідроциліндра, також дозволяє регулювати швидкість переміщення поршня, за рахунок створення регульованого підпору (тиску) в лінії зливу гідроциліндра. Цей підпір забезпечує регулювання витрати рідини через дросель, який описаний рівнянням (6.4), проте динамічні характеристики приводу тут будуть іншими. Визначення цих характеристик і є метою цієї лабораторної роботи.

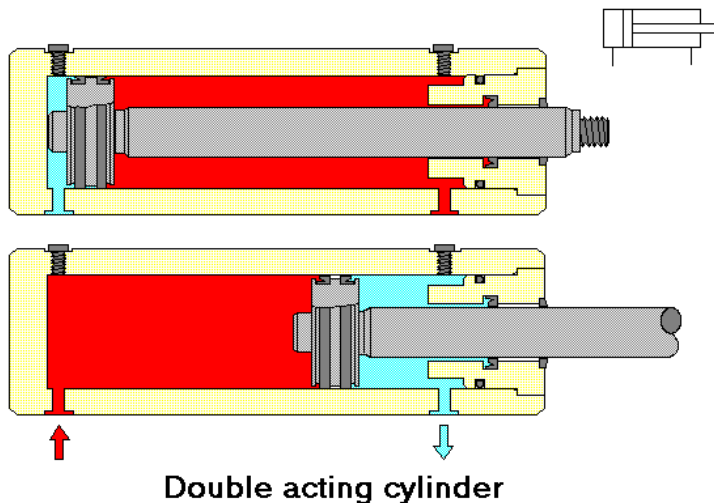
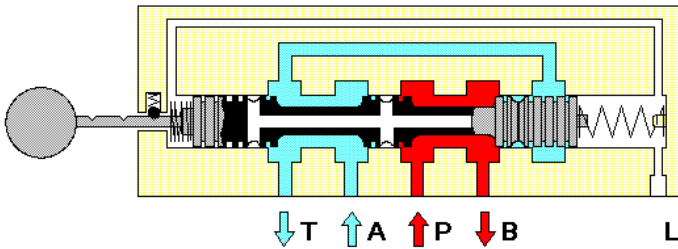
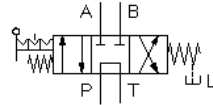


Рис. 6.7 Гідравлічний циліндр двосторонньої дії

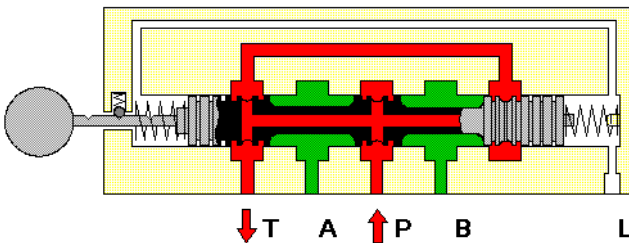
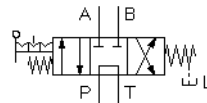
На рисунку 6.7 представлено гідравлічний циліндр двосторонньої дії в двох положеннях. В першому випадку тиск подається в штокову порожнину і

поршень зі штоком рухається вліво, а в іншому випадку тиск подається в поршневу порожнину і поршень зі штоком рухається вправо.



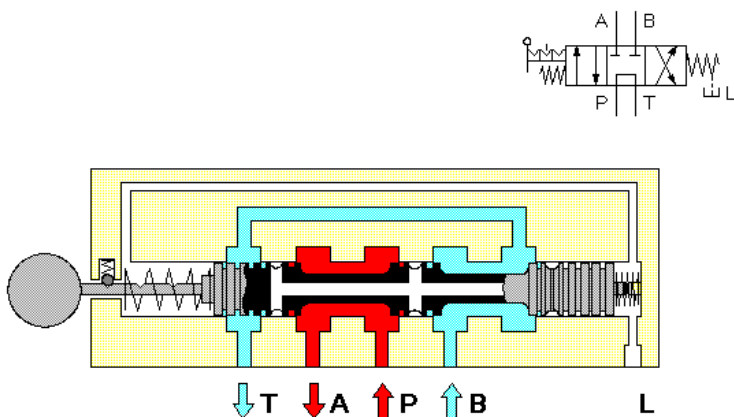
4/3 - way valve with pump by-pass

a)



4/3 - way valve with pump by-pass

б)



4/3 - way valve with pump by-pass

в

Рис. 6.8 Гідравлічний розподільник 4/3 з одностороннім ручним керуванням і пружинним поверненням

На рисунку 6.8 представлено гідравлічний чотирьохлінійний трипозиційний розподільник в трьох положеннях а, б, в. В положенні (рис.6.8 а) від ручного перемикаччя лінія напірної магістралі Р з'єднується з вихідним каналом В. В положенні (рис.6.8 б) розподільник знаходиться в нейтральному положенні при цьому вихідні магістралі А і В закриті а напірна магістраль Р з'єднана зі зливною магістраллю Т. В положенні (рис. 6.8 в) лінія напірної магістралі Р з'єднується з вихідним каналом А. Такий розподільник дозволяє управляти двома порожнинами через нейтральне положення. Коли ці порожнини закриті.

Обчислення динамічних характеристик.

Визначення швидкості переміщення поршня проводиться за рівнянням:

$$V_{\Pi} = \frac{L}{t} \quad (6.6)$$

де L – величина ходу штока циліндра, м;

t – час його переміщення, с.

Обчислення витрати рідини у робочій порожнині циліндра двигуна) проводиться за формулою:

$$Q = \frac{W}{t} \quad (6.7)$$

де W – об'єм (м³) робочої порожнини гідроциліндра, обчислюється як добуток площі поршня циліндра на величину ходу поршня циліндра

$$W = S_{\Pi} \times L, \quad (6.8)$$

Споживана потужність гідроприводу для виконання необхідної роботи обчислюється як добуток тиску P (Па), що розвиває гідростанція на максимальну витрату Q.

$$N_{\text{сп}} = P \times Q. \quad (6.9)$$

Критерієм енергетичних можливостей гідроприводу із всіма вбудованими в схему гідравлічними елементами є, як відомо, коефіцієнт корисної дії гідроприводу $\eta_{\text{загГП}}$, який визначається як відношення потужностей, що розвиває $N_{\text{рз}}$, до потужності, що споживає $N_{\text{сп}}$ гідропривід:

$$\eta_{\text{загГП}} = \frac{N_{\text{сп}}}{N_{\text{рз}}} = \frac{F \cdot V_{\Pi}}{P_{\text{гс}} \cdot Q} = \frac{P_{\text{дв}} \cdot Q_{\text{дв}}}{P_{\text{гс}} \cdot Q_{\text{гс}}} \cdot \eta_{\text{гс}} \cdot \eta_{\text{дв}}$$

де F – навантаження, що прикладено до штоку гідроциліндра. В даній лабораторній це металевий вантаж, з'єднаний зі штоком; $P_{\text{дв}}$ – повний тиск рідини в робочій порожнині гідроциліндра;

$\eta_{\text{гс}} = 0,92$ – ККД гідростанції; $\eta_{\text{дв}} = 0,9$ – ККД двигуна (гідроциліндра).

Повний тиск в гідроциліндрі $P_{\text{дв}}$, визначається сумою статичного $P_{\text{ст}}$ і динамічного $P_{\text{дин}}$ тисків:

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}} = P_{\text{ман}} + \frac{\rho \cdot V_{\Pi}^2}{2}$$

де $P_{\text{ман}} = P_{\text{ст}}$ – манометричний тиск (Па), що визначається по приладу перед входом в гідроциліндр. Оскільки ми не маємо можливості виміряти тиск безпосередньо в порожнині циліндра під час його руху, за статичний тиск можна

прийняти тиск безпосередньо перед входом в гідроциліндр, вважаючи, що вони трохи відрізняються.

Густину робочої рідини приймаємо $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$.

Вказівки по проведенню роботи:

Ознайомитися з змістом роботи і теоретичною частиною.

Дросель з вбудованим зворотним клапаном – застосовується для регулювання швидкості в одну сторону, рідина в одну сторону йде через дросель, зворотний клапан закритий, а у зворотний бік через відкритий зворотний клапан. Ступінь відкриття прохідного перерізу дроселя – 100%.

6.1. Використовуючи елементну базу універсального стенду, зібрати схему регулювання швидкості поршня при установці дроселя на вході (рис.6.6,а), відрегулювавши необхідний тиск гідростанції – 60 бар регулювальним гвинтом редукційного клапана гідростанції. Переконатися в працездатності схеми, перемкнути розподільник за допомогою рукоятки. Поршень гідроциліндра повинен вільно рухатися в обидві сторони.

6.2. Повністю закрити дросель регулювальним маховиком. Переконатися, що поршень переміщується.

6.3. Злегка відкрити дросель маховиком (близько 0.1 обороту), переконатися що поршень рухається в обидві сторони. За допомогою секундоміра заміряти час переміщення поршня. Заміри зробити 3 рази, потім визначити середньоарифметичне значення часу переміщення. Якщо одне з виміряних значень значно відрізняється від інших, його необхідно відкинути і повторити заміри. Виміряти тиск за допомогою манометра М1. Результати зафіксувати і занести в таблицю 6.1.

6.4. Зареєструвати цифру на шкалі маховика дроселя, що співпала з рискою на корпусі дроселя. Повернути на один оборот маховик дроселя щодо риски проти годинникової стрілки, відкриваючи при цьому прохідний переріз дроселя. Повторити вимірювання часу і тиску п. 5.6.

6.5. Провести вимірювання часу переміщення поршня по п. 5.6. до тих пір, поки регулювання не перестане впливати на збільшення швидкості переміщення поршня. Зафіксувати всі результати вимірювань, в тому числі і останній.

6.6. Провести обчислення швидкості переміщення поршня за формулою (8). Дані занести в таблицю 6.1.

6.7. Визначити швидкість переміщення поршня за формулою (8). Дані занести в таблицю .

Таблиця 6.1

Поворот маховика	Час переміщення, с				Швидкість переміщення, м/с	Тиск, бар	Примітка
	t1	t2	t3	tcp	Vп	P	
0.1							
1.1							
2.1							
.....							
5.1							
6.1							

6.8. Провести обчислення інших динамічних характеристик гідроприводу на кожному обороті маховика дроселя, тобто як функцію від ступеня відкриття дроселя в оборотах, а саме, витрати, спожитої потужності, ККД гідроприводу, скориставшись рівняннями, викладеними в лабораторній роботі 7.

6.9. Побудувати графіки залежностей швидкості, витрати, спожитої потужності і ККД від ступеня відкриття дроселя (в оборотах відкриття).

Зробити висновки.

- зібрати схему регулювання швидкості переміщення поршня з установкою дроселя на виході гідроциліндра, у відповідності з рис 6.6 б.
- повторити дії у послідовності за пп. 6.1 – 6.9 для схеми з регулюванням швидкості з дроселем на виході гідроциліндра.
- зробити порівняння різних способів регулювання швидкості переміщення поршня гідроциліндра, з установкою дроселя на його вході і на його виході.

Зробити висновки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СХЕМ З ОДНИМ ВИКОНАВЧИМ ПРИСТРОЄМ (циліндром двосторонньої дії)

Мета роботи

1. Вивчити принципову гідравлічну схему з одним виконавчим пристроєм гідравлічним циліндром двосторонньої дії з електроуправлінням.
2. За заданою схемою з гідравлічних та електрогідравлічних елементів зібрати на лабораторному стенді схему і вивчити роботу приводів в дії.

Зміст роботи

Ознайомитись з умовними позначеннями гідроелементів і електрогідроелементів.

Ознайомитись з елементною базою лабораторного стенду.

Ознайомитись з гідравлічними і електричними принциповими схемами: управління роботою гідравлічного циліндра.

Зібрати схему управління циліндром дво - сторонньої дії.

Оформити звіт.

Загальні відомості

В ряді завдань потрібно точно підтримувати швидкість робочого органу при змінному навантаженні. Таку задачу можна вирішити за допомогою регулятора потоку (рисунок 7.5). Регулятор потоку складається з регульованого дроселя, який в залежності від його установки може працювати тільки в одному напрямку або в двох напрямках руху штока циліндра. Для того щоб він працював у двох напрямках руху, регулятор потоку (дросель) повинен бути встановлений між джерелом гідравлічної енергії і розподільником, також на лінії зливу з штокової порожнини циліндра встановлений підтримуючий клапан тиску. Паралельно з ним встановлюють зворотний клапан. Підтримуючий (підпірний) клапан забезпечує сталість тиску при різних змінах навантаження або сил інерції рухомих мас. Зворотний клапан забезпечує проходження потоку масла в обхід підпірного клапана при підключенні безштокової порожнини до напірної магістралі при зворотному ході штока циліндра. Для керування напрямком руху штока циліндра в

схемі встановлений 4/2 розподільник з одностороннім електромагнітним керуванням і пружинним поверненням.

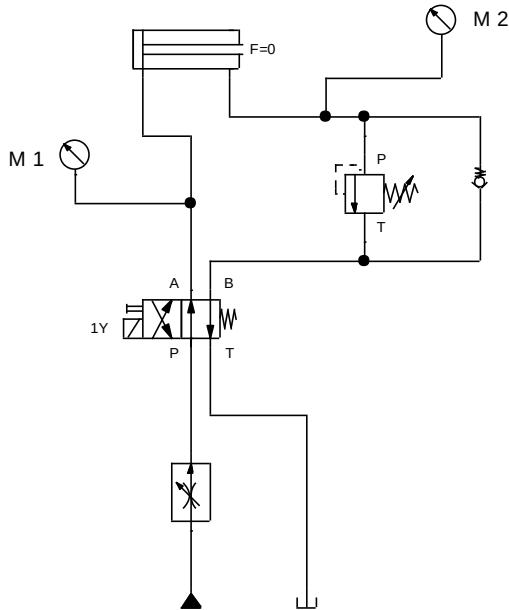


Рис. 7.1 Схема гідравлічна принципова

На рис. 7.2 представлена електрична схема керування циліндром двосторонньої дії. Для створення самоутримування кнопка S_1 повинна бути включена в схему як нормально розімкнутий контакт. При натисканні кнопки струм надходить на катушку $K_1(A_1, A_2)$ замикаються її контакти (13,14), (23, 24), струм надходить на електромагнітну катушку Y_1 розподільника, який перемикається і масло надходить в порожнину циліндра шток втягується. При відпусканні кнопки S_1 розмикаються контакт S_1 (1,2), але струм на катушку $K_1(A_1, A_2)$ надходить за рахунок замкнутих контактів K_1 (11,14). При натисканні кнопки S_2 самоутримування знімається, і розподільник перемикається у вимкнений стан. Шток циліндра висувається. Система повертається в початкове положення. Для повторення роздільного циклу необхідно спочатку натиснути кнопку S_1 , а потім S_2 . Якщо натиснути обидві кнопки, то самоутримуюча система не отримує жодного сигналу і перемикання не відбувається. Зміна напрямку руху гідроциліндра здійснюється перемиканням 4/2 електромагнітного розподільника з одностороннім керуванням і пружинним поверненням (рис.7.3).

Силу, що розвиває гідравлічний циліндр, під час руху можна описати рівнянням:

$$P_1 S_1 - P_2 S_2 - F_T \pm F_G = F_{II}, \quad (7.1)$$

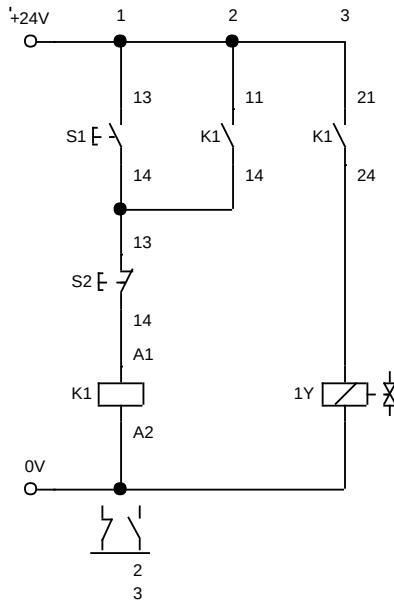


Рис. 7.2– Схема електрична принципова

де P_1, P_2 - тиск в порожнинах циліндра (по манометру М1, М2 в барах, 1 бар = $1 \cdot 10^5$ Па),

S_1, S_2 - площі поршня безштокової і штокової порожнин (м^2),

F_T - сила тертя (Н), $F_T = 0,1(P_1 S_1)$, F_G - вага штока з вантажем (Н),

F_{II} - корисна сила, що розвиває гідроциліндр, під час руху (Н).

Середня швидкість штока при прямому і зворотному ході визначається з виразу:

$$V_{II} = \frac{X}{t_1}, \quad V_o = \frac{X}{t_2} \quad (7.2)$$

Об'ємна витрата масла ($\text{м}^3/\text{с}$), що споживається циліндром при прямому і зворотному ході визначимо з залежності:

$$Q_{ц1} = V_{п} S_1, Q_{ц2} = V_o S_2, \quad (7.3)$$

Потужність, що підводиться до циліндра, (витрачена) потужність, (Вт) при прямому ході:

$$N_3 = Q_{ц1} P_1. \quad (7.4)$$

Корисну потужність, що розвиває циліндр при прямому ході визначимо з виразу:

$$N_{п} = \frac{F_n X}{t_1}, \quad (7.5)$$

де $F_n X$ - робота, чинена штоком циліндра при його переміщенні за час t_1 (Дж).

Коефіцієнт корисної дії циліндра визначається з виразу:

$$\eta = \frac{N_n}{N_3}. \quad (7.6)$$

В гідравлічній схемі зливний клапан встановлений на виході циліндра і призначений для підтримки швидкості, при змінному навантаженні на штоці. Гідравлічний циліндр встановлений вертикально і в якості навантаження використовується вантаж вагою = 89,9 Н, який створює стискаюче зусилля на штоці. Гідравлічний циліндр має такі характеристики: хід – $X = 0,2$ м, внутрішній діаметр циліндра і поршня $D = 0,016$ м, діаметр штока $d = 0,01$ м. Для регулювання швидкості штока циліндра в схемі передбачений регульований дросель встановлений на вході в циліндр при прямому і зворотному ході. Для вимірювання часу переміщення в схемі використовують секундомір.

В підтримуючому клапані утворюється нульова точка, при якій шток циліндра перестає рухатися. В цьому випадку тиск у штокової порожнини і сила на поршні стають рівними силі, що діють на поршень і шток з іншого боку.

Зображений розподільник 4/2 має в лівій частині вбудований електромагніт постійного струму, що представляє собою «магніт який працює в масляному середовищі». Так званий «мокрый магніт». Якір працює в маслі, чим досягається зменшення зносу, хороший тепловідвід і демпфірування ударів якоря при перемиканні. Якірний простір пов'язаний зі зливною магістраллю. В центральній частині розподільника розташовано чотириох кромковий золотник з двома проточками.

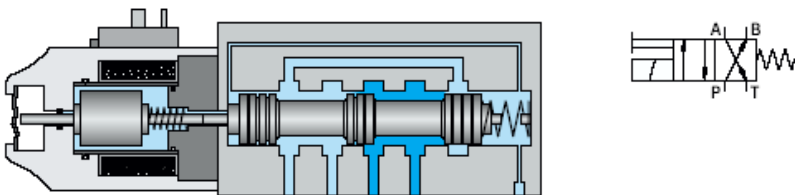


Рис.7.3 Розподільник 4/2 з одностороннім електромагнітним керуванням і пружинним поверненням

Розподільник має два робочих входи А і В, канал з'єднання з лінією живлення Р і канал з'єднаний з лінією зливу Т. Якірний простір і простір з пружиною через канал L постійно пов'язані з зливною магістраллю.



Рис. 7.4 – Умовні позначення електроелементів керування

Вказівки щодо виконання роботи

7.1 Ознайомитись з умовними позначеннями і елементною базою лабораторного стенда.

7.2. З набору гідроелементів і шлангів за схемою зібрати гідравлічну частину схеми. З електроелементів за схемою (рис. 8.2) зібрати електричну частину схеми. Електрична частина збирається з стаціонарно встановленого блоку живлення 24В, блоку кнопок з контакторами, блоку реле, за допомогою електричних дротів з роз'ємами.

Увага! Електричну частину схеми збирати тільки при вимкненому блоці живлення, гідравлічну при вимкненій маслостанції.

7.3. Прикріпити до штоку циліндра вантаж. Встановити рукоятку зливного клапана в положення 0 до упору, а потім, відвертаючи її повернути в положення 1.

7.4. Встановити дросель в положення "повністю закрито", а потім відвертаючи рукоятку на один оберт встановити в положення 1.

Включити маслостанцію.

Включити блок живлення і подати напругу 24В на систему керування.

7.5. Натиснути кнопку, виміряти час прямого ходу і тиску на вході і виході циліндра за манометрами дані записати в таблицю 7.1. Обнулити секундомір.

Натиснути кнопку виміряти час t_2 зворотного ходу дані записати в таблицю.

7.6. Встановити дросель в положення 2 повернути рукоятку ще на один оберт, виміряти час і тиск дані записати в таблицю 7.1. Встановити рукоятку дроселя в положення 3, 4, 5, 6 дані записати в таблицю 7.1

Таблиця 7.1

	1 пол.слив. кл.				2 пол.слив. кл.				3 пол.слив. кл.				4 пол.слив. кл.				5 пол.слив. кл.			
Др	P ₁	P ₂	t ₁	t ₂	P ₁	P ₂	t ₁	t ₂	P ₁	P ₂	t ₁	t ₂	P ₁	P ₂	t ₁	t ₂	P ₁	P ₂	t ₁	t ₂
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				

7.7. Встановити рукоятку зливного клапана відповідно до положення 2,3,4,5 повторити п. 7.5. – 7.6., дані записати в таблицю 7.1.

7.8. Вимкнути маслостанцію. Зняти вантаж із штока циліндра. Повторити вимірювання п. 7.3.- 7.7. дані записати в таблицю 7.2 (без ваги) аналогічну таблиці 7.1. Положення зливного клапана і вимірювання починати з цифри 2, потім 3,4,5,0.

7.9. Розібрати елементи лабораторного стенду і скласти на місце. Зробити звіт по лабораторній роботі. Побудувати залежності швидкості, витрати потужності і К.К.Д. циліндра від числа обертів дроселя при прямому ході штока і швидкості при зворотному ході штока з вантажем і без нього. Зробити висновки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидравлика: основной курс ТР 501: Учебное пособие. Т.1 Меркле Д. К. перевод с немецкого Гнатюк Ю.Й., Четверкин А.А. :– Киев: ДП "Фесто" 2002. -130 с.
2. Гидравлика: основной курс ТР 501: Учебное пособие. Т.2 Меркле Д. К.: перевод с немецкого Гнатюк Ю.Й., Четверкин А.А. :– Киев: ДП "Фесто" 2002. -281 с.
3. Левицький Б.Ф., Ленін Н.П. Гідравліка. Загальний курс. – Львів: Світ, 1994 – 264 с.
4. Промислові мехатронні системи на основі пневмоприводу: Навч. посібник /Є.В. Пашков, Ю.О. Осинський. – Севастополь: Вид-во Сев НТУ, 2007. – 388с.
5. М. Грабовський, О. М.Цабієв. Гідравліка і нагнітачі: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992.

Навчально-методичне видання

Гідравліка, гідро та пневмоприводи

Методичні вказівки до лабораторних робіт

Укладачі: Руденко Т.В., Кулешков Ю.В.