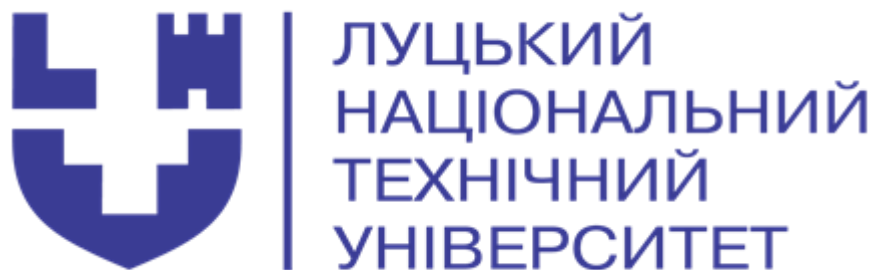


Міністерство освіти і науки України



**ГІДРАВЛІКА, ГІДРО- ТА ПНЕВМОПРИВОДИ
методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Агроінженерія»
галузі знань Н Сільське, лісове, рибне господарство та
ветеринарна медицина
спеціальності Н7 Агроінженерія денної та заочної форм навчання**

Луцьк - 2025

УДК 621.6:631.3(075.8)

До друку

Голова вченої ради факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ
_____ Р.В. Кірчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ
Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету аграрних технологій
та екології ЛНТУ,
протокол № ____ від « ____ » _____ 2025 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри лісового господарства,
протокол №__ від «__» _____2025 року.
Завідувач кафедри лісового господарства _____ В.О. Волянський

Укладачі: _____ О.П.Герасимчук, кандидат технічних наук, доцент кафедри лісового господарства ЛНТУ;

Рецензент: _____ Р.В.Кірчук, кандидат технічних наук, професор, декан факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: _____ В.О. Волянський, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри лісового господарства ЛНТУ.

Г36 **Гідравліка, гідро- та пневмоприводи** [текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» галузі знань Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина спеціальності Н7 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. О.П.Герасимчук. – Луцьк : ЛНТУ, 2025. 84 с.

Методичне видання містить вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи». Подано короткі теоретичні відомості, необхідні для виконання кожної роботи, порядок проведення експериментів, вказівки щодо обробки результатів, оформлення звітів і контрольні питання для самоперевірки. Методичні вказівки охоплюють основні теми курсу — від вивчення фізичних властивостей рідин, законів гідростатики й гідродинаміки до ознайомлення з будовою, принципом дії та характеристиками гідравлічних машин і елементів гідроприводів.

© Герасимчук О.П., 2025

ЗМІСТ

Лабораторна робота 1. Вимірювання тиску рідини.....	4
Лабораторна робота 2. Прилади для вимірювання тиску.....	8
Лабораторна робота 3. Властивості гідростатичного тиску.....	14
Лабораторна робота 4. Основне рівняння гідростатики.....	19
Лабораторна робота 5. Гідростатичне зважування тіл.....	22
Лабораторна робота 6. Рівновага та стійкість тіл, занурених у рідину.....	26
Лабораторна робота 7. Дослідна перевірка рівняння Бернуллі.....	30
Лабораторна робота 8. Дослідження роботи сифона.....	33
Лабораторна робота 9. Вивчення відцентрових насосів.....	38
Лабораторна робота 10. Вивчення шестеренних насосів.....	42
Лабораторна робота 11. Вивчення аксіально-поршневих насосів.....	48
Лабораторна робота 12. Вивчення вакуумних насосів Рутса.....	53
Лабораторна робота 13. Вивчення гідроциліндрів.....	58
Лабораторна робота 14. Вивчення гідромоторів.....	62
Лабораторна робота 15. Вивчення гідророзподільників.....	66
Лабораторна робота 16. Вивчення гідравлічних дроселів.....	71
Лабораторна робота 17. Вивчення гідроприводу зворотно-поступальної дії.....	76
Список використаних джерел.....	81

Лабораторна робота 1

Вимірювання тиску рідини

Мета: Ознайомитись з поняттям рідини, її видами, гідростатичним тиском, його видами та одиницями вимірювання

Теоретичні положення

Рідина – це речовина, що знаходиться в такому агрегатному стані, який поєднує в собі властивості твердого (досить мале стиснення) і газоподібного (текучість) стану. Рідини поділяють на два види: краплинні і газоподібні. Краплинні рідини характеризуються великим опором до стискання, малим опором на розтяг і дотичним зусиллям, що обумовлено незначними силами зчеплення і тертя між частками рідини і незначною температурною розширюваністю. До краплинних рідин відносяться вода, нафта, бензин, гас, ртуть, спирт і т.п.

Гідравліка розглядає лише краплинні рідини, однак, багато властивостей краплинних і газоподібних рідин, а також багато механічних законів для них однакові.

Рідини, що існують у природі, називаються реальними,

Для полегшення вирішення багатьох задач гідромеханіки введено поняття ідеальної рідини, яка зовсім не стискається і не розширюється, має абсолютну рухомість частинок і в якій відсутні сили внутрішнього тертя (в'язкість дорівнює нулю). У ряді випадків заміна реальної рідини ідеальною допускається, тому що не дає великих помилок.

Текучість – це властивість рідини сильно змінювати свою форму під дією незначних сил. На рідину можуть діяти сили, розподіленні по її масі (об'єму) – масові сили, і по поверхні – поверхневі сили. До перших відносяться сили тяжіння і інерції, до других – сили тиску і тертя.

Тиском p [Па] називається відношення сили, направленої по нормалі до поверхні, до площі. При рівномірному розподілі сили

$$p = \frac{F}{S}. \quad (1.1)$$

де F – сила, направлена по нормалі до поверхні, N ;

S – площа поверхні, m^2 .

Гідростатичний тиск p в будь-якій точці рідини, що знаходиться в стані рівноваги, (наприклад в резервуарі 1 (див. рис. 1.1) визначається за формулою

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (1.2)$$

де ρ – питома маса рідини, kg/m^3 ;

h – п'єзометрична висота, m .

Якщо тиск p відраховується від абсолютного нуля, то його називають абсолютним ($p_{абс}$), а якщо від умовного нуля (тобто порівнюють з атмосферним тиском $p_{атм}$), то манометричним або вакууметричним ($p_{ман}$) або $p_{вак}$.

Манометричний або надлишковий тиск $p_{ман}$ або $p_{над}$ – це тиск більший за атмосферний ($p_{атм}$) тобто:

$$P_{над} = P_{абс} - P_{атм}. \quad (1.3)$$

Якщо тиск на поверхні рідини рівний атмосферному ($P_0 = P_{атм}$), то надлишковий тиск

$$P_{над} = \rho gh. \quad (1.4)$$

Якщо $P_{абс} < P_{атм}$, то наявний вакуум. Різниця між атмосферним повним називається вакууметричним тиском

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}. \quad (1.5)$$

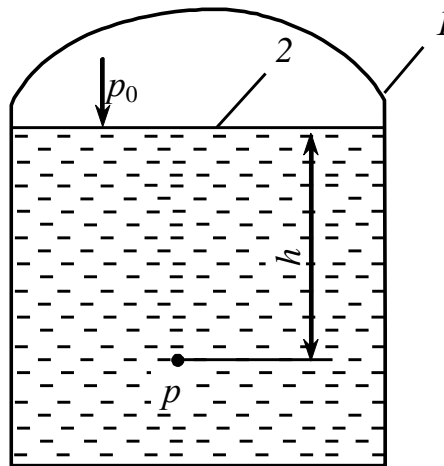


Рисунок 1.1. – Гідростатичний тиск в будь-якій точці рідини, що знаходиться в стані рівноваги

Одиниці вимірювання тиску і їх взаємозв'язок наступний:

$$1 \frac{кгс}{см^2} = 1 атм = 9,8 \cdot 10^4 \frac{Н}{м^2} = 9,8 \cdot 10^4 Па \approx 0,1 МПа.$$

Цей тиск відповідає висоті стовпа рідини: водяного напорю – 10 м; ртутного – 736 мм.

Надлишковий тиск вимірюється пружинними або рідинними манометрами.

Для вимірювання напорів до 2 м використовується найпростіший рідинний манометр – п'езометр, який являє собою скляну трубку один кінець якої приєднується до місця, де вимірюється тиск, а другий відкритий і з'єднаний атмосферою.

Вакуум вимірюється рідинним і пружинним вакуумметрами, принцип будови яких аналогічний будові манометрів.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з поняттям рідини, її видами, поняттям ідеальної та реальної рідини, гідростатичним тиском, його видами та їх взаємозв'язком.
2. Вивчити взаємозв'язок між одиницями вимірювання тиску.
3. Заповнити таблиці 1.1–1.3 (рідина – вода питомою масою $\rho = 1000 кг/м^3$, атмосферний тиск приймаємо $P_{атм} = 98000 Па$).
4. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.1 – Вимірювання тиску п'езометром

№	П'езометрична висота		Надлишковий тиск		Повний тиск
	<i>м. вод. ст.</i>	<i>мм. рт. ст.</i>	<i>атм.</i>	<i>Па</i>	<i>Па</i>
1		дві останні цифри № в журналі академгрупи			
2	дві останні цифри № в журналі академгрупи / 100				

Таблиця 1.2 – Вимірювання тиску манометром

№	Надлишковий тиск			Повний тиск
	<i>м. вод. ст.</i>	<i>мм. рт. ст.</i>	<i>кгс/см².</i>	<i>Па</i>
1			дві останні цифри № в журналі академгрупи	
2		дві останні цифри № в журналі академгрупи × 10		

Таблиця 1.3 – Вимірювання тиску вакууметром

№	Вакууметрична висота		Вакууметричний тиск		Повний тиск
	<i>м. вод. ст.</i>	<i>мм. рт. ст.</i>	<i>атм.</i>	<i>Па</i>	<i>Па</i>
1			дві останні цифри № в журналі академгрупи / 100		
2				дві останні цифри № в журналі академгрупи * 100	

Контрольні питання:

1. Що таке рідина і які її основні властивості?
2. Які бувають види рідин? Наведіть приклади краплинних рідин.
3. У чому полягає різниця між реальною та ідеальною рідиною?
4. Що таке текучість і від чого вона залежить?

5. Які сили діють на рідину? Наведіть приклади масових і поверхневих сил.
6. Як визначається тиск у рідині? Запишіть відповідну формулу.
7. Що таке гідростатичний тиск і за якою формулою він визначається?
8. Як пов'язані між собою абсолютний, манометричний (надлишковий) і вакууметричний тиски?
9. Як позначаються ці види тисків і у яких випадках вони застосовуються?
10. Які одиниці вимірювання тиску використовуються в гідравліці?
11. Як здійснюється перехід між різними одиницями вимірювання тиску (Па, мм рт. ст., м вод. ст., атм)?
12. Який тиск відповідає 10 м водяного стовпа або 736 мм ртутного?
13. Для чого використовуються п'єзометри і на якому принципі вони працюють?
14. Як вимірюється надлишковий тиск і який прилад для цього застосовують?
15. Який принцип дії рідинного та пружинного манометра?
16. Як вимірюється вакуум? Які прилади для цього використовуються?
17. Які основні частини має вакуумметр і чим він відрізняється від манометра?
18. Як визначити повний тиск у точці рідини за даними вимірювань п'єзометром або манометром?
19. Як атмосферний тиск впливає на показання манометрів і вакуумметрів?
20. Які висновки можна зробити після проведення лабораторної роботи щодо способів вимірювання тиску рідин?

Лабораторна робота 2

Прилади для вимірювання тиску

Мета: Вивчити будову, принцип роботи та область використання приладів для вимірювання тиску

Теоретичні положення

2.1. Класифікація приладів для вимірювання тиску

Прилади для вимірювання тиску класифікують за наступними ознаками:

1. За вимірюваною величиною:

- барометри, призначені для вимірювання атмосферного тиску;
- п'єзометри, призначені для вимірювання надлишкового тиску до $0,2 \text{ атм. (19600 Па)}$;
- манометри, призначені для вимірювання надлишкового тиску;
- вакуумметри, призначені для вимірювання вакууму;
- мановакуумметри, призначені для вимірювання надлишкового тиску і вакууму;
- тягоміри, призначені для вимірювання невеликого розрідження;
- напороміри, призначені для вимірювання невеликого надлишкового тиску;
- тягонапороміри, призначений для вимірювання тиску в межах $\pm 0,25 \text{ атм. } (\pm 24500 \text{ Па})$;
- диференціальні манометри, призначені для вимірювання різниці тисків;
- мікроманометри – прилади для вимірювання тиску в межах $\pm 0,025 \text{ атм. } (\pm 2450 \text{ Па})$.

2. За принципом дії:

- рідинні для вимірювання тиску від $0,6$ до $0,6 \text{ атм. (від } -58800 \text{ до } 58800 \text{ Па)}$, в яких вимірюваний тиск (розрідження) врівноважується тиском стовпа рідини, що заповнює прилад (барометри, п'єзометри, манометри, вакуумметри, мановакуумметри, диференціальні манометри);
- механічні, в яких вимірюваний тиск визначають по величині деформації пружного елемента – трубчастій пружини, мембрани, сильфону (пружинні, мембранні, сильфонні манометри, вакуумметри, мановакуумметри, а також напороміри, тягонапороміри, мікроманометри);
- поршневі, в яких вимірюваний тиск визначається зовнішньою силою (вантажом), що діє на поршень певної площі (поршневий манометр).
- електричні, в основі яких лежить властивість матеріалів змінювати електричний опір зі зміною тиску (п'єзодатчики) або принцип перетворення деформації пружних елементів в електричний сигнал за допомогою потенціометричних або індуктивних перетворювачів (електромеханічні дистанційні манометри).

Останні прилади можна виділити в окрему групу – електромеханічні прилади для вимірювання тиску.

2.2. Рідинні прилади вимірювання тиску

Рідинні прилади для вимірювання тиску завдяки простоті і надійності гідростатичного принципу, що покладений в їх основу, отримали широке

поширення в різних галузях промисловості.

Основні переваги рідинних приладів: мала похибка; простота конструкції; невелика вартість; швидкість встановлення та запуску; вибухобезпечність.

Основні недоліки рідинних приладів: погана видимість шкали; крихкість внаслідок наявності скляних частин; можливість викиду робочої рідини при підвищенні тиску вище допустимого; неможливість дистанційної передачі і автоматичного запису показів; незначні межі вимірювань.

Барометр складається з відкритої посудини, заповненої ртуттю, та зі скляної трубки, верхній кінець якої запаяний, а нижній опущений у посудину під рівень ртуті (рис. 2.1). У верхній, частині трубки повітря нема, тому в ній, діє тиск насиченої пари ртуті p_s . При 20°C $p_s = 2335 \text{ Па}$. Значення атмосферного тиску обчислюють за формулою

$$p_{\text{атм}} = p_s + \rho_p g (h + \Delta h), \quad (2.1)$$

де ρ_p – питома маса ртуті; Δh – поправка на капілярність, яку приймають $(1/10^5)d$; d – внутрішній діаметр трубки.

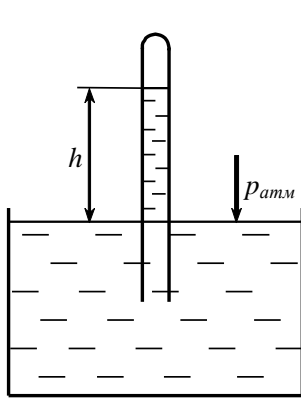


Рис. 2.1 – Ртутний барометр

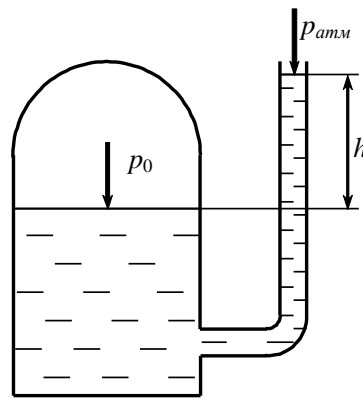


Рис. 2.2 П'єзометр.

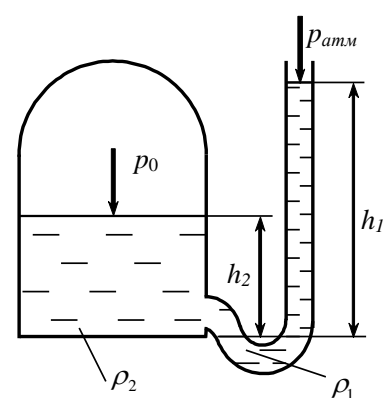


Рис. 2.3 – Рідинний манометр

П'єзометр – це прилад для вимірювання невеликого тиску в рідині за допомогою висоти стовпа цієї ж рідини (рис. 2.2). Він складається з вертикальної скляної трубки, верхній кінець якої відкритий і сполучений з атмосферою, а нижній приєднаний до посудини, в якій вимірюють тиск:

$$p_0 = p_{\text{атм}} + \rho gh. \quad (2.2)$$

Рідинний манометр – це U-подібна скляна трубка, у коліні якої міститься рідина, важча від тієї, що заповнює посудину (рис. 2.3). Один кінець трубки приєднаний до посудини, другий відкритий. Тиск на вільній поверхні рідини p_0 обчислюють за формулою

$$p_0 = p_{\text{атм}} + \rho_1 gh_1 - \rho_2 gh_2, \quad (2.3)$$

де ρ_1, ρ_2 – відповідно питома маса робочої рідини (наприклад, ртуті) і рідини, що міститься в посудині.

Рідинний вакуумметр подібний до рідинного манометра (рис. 2.4). Тиск на вільній поверхні рідини, якщо трубка приєднана вище від цієї поверхні, обчислюють за формулою

$$p_0 = p_{\text{атм}} - \rho gh. \quad (2.4)$$

Для вимірювання різниці тисків у двох точках використовують *диференціальний манометр* (рис. 2.5). Це U-подібна трубка, заповнена робочою рідиною. Кожний з кінців трубки приєднаний до точок, між якими треба виміряти різницю тисків Δp

$$\Delta p = gh(\rho_2 - \rho_1). \quad (2.5)$$

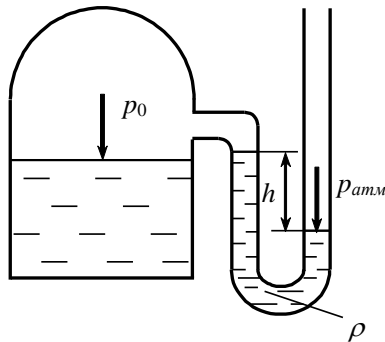


Рис. 2.4 – Рідинний вакуумметр

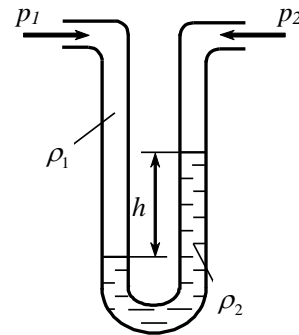


Рис. 2.5 – Рідинний дифманометр

За конструктивним виконанням розрізняють манометри:

U-подібні (рис. 2.6, а) – що являють собою трубку, зігнуту у форму букви U, закріплену на дошці зі шкалою. Якщо один кінець трубки з'єднати з середовищем, в якому вимірюється тиск, а інший залишити відкритим, то в одному коліні манометра рідина опуститься, а в іншому підніметься і надлишковий тиск (розрідження) визначиться за формулою

$$p = \rho gh, \quad (2.6)$$

де h – різниця висот робочої рідини в трубках. ρ – питома маса рідини.

Висота h в манометрі не залежить від форми і перерізу трубок, а залежить лише від тиску і питомої ваги рідини.

При відхиленні температури приладу від градууювальної необхідно вводити поправку по наступній формулі:

$$p_n = \rho_1 gh \frac{1 + \alpha(t - t_{zp})}{1 + \beta(t - t_{zp})}, \quad (2.7)$$

де ρ_1 – питома вага робочої рідини; h – висота зрівноважуючого стовпа рідини; α – температурний коефіцієнт лінійного розширення шкали приладу в 1/град; β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення рідини в 1/град, t – температура навколишнього середовища; t_{zp} – градууювальна температура приладу.

Найбільша абсолютна похибка U-подібних манометрів внаслідок неточності відліку висоти стовпів рідини в двох колінах складає ± 1 мм стовпа робочої рідини.

Зручнішим є чашковий (однотрубний) манометр (рис. 2.6, б), що вимагає лише одного відліку.

Чашковий манометр складається з трубки і посудини великого діаметру, що замінює другу трубку приладу. Тиск в цьому випадку визначається рівнем рідини від нульової відмітки шкали. Вимірюваний тиск підводиться до

посудини з великим діаметром, а кінець трубки залишається відкритим. При вимірюванні тиску, об'єм рідини, витиснений з широкої посудини, рівний об'єму рідини, що піднялася в трубці, тобто

$$h_1 S_1 = h_2 S_2, \quad (2.8)$$

де h_1, h_2 – зміни висоти рівня рідини в посудинах; S_1, S_2 – площі поперечного перерізу посудин.

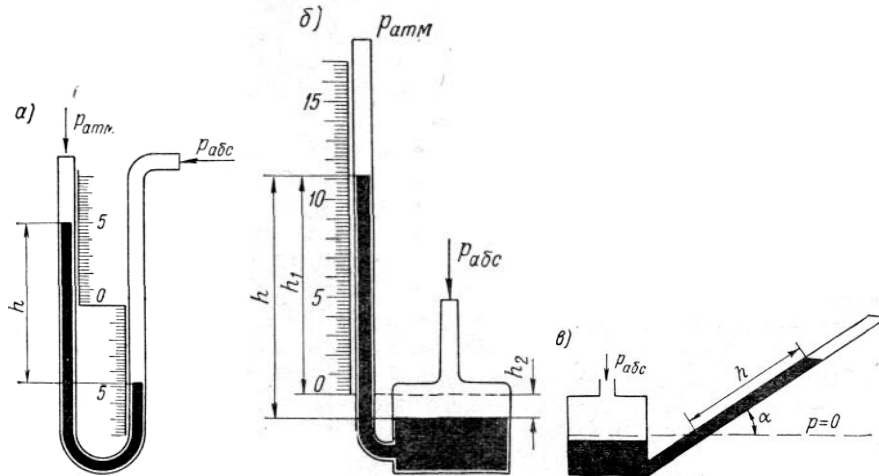


Рис. 2.6 – Рідинні манометри: а – U-подібний; б – чашковий; в – мікроманометр з похилою трубкою

Знаючи, що $h = h_1 + h_2$, рівняння (2.8) можемо представити таким чином:

$$h = h_1 + h_1 \frac{S_1}{S_2} \text{ або } h = h_1 \left(1 + \frac{S_1}{S_2} \right). \quad (2.9)$$

Отже надлишковий або вакууметричний тиск

$$p = \rho g h = \rho g h_1 \left(1 + \frac{S_1}{S_2} \right). \quad (2.10)$$

Значення $1 + \frac{S_1}{S_2}$ дуже мало відрізняється від одиниці, і при вимірюванні

проводиться відлік по посудині з меншим діаметром.

Межі вимірювання чашкового манометра від -800 до 800 мм вод. ст. (або від -3923 до 3923 Па).

Для вимірювання малого тиску і розріджень застосовуються мікроманометри з похилою трубкою (рис. 2.6, в). Вони відрізняються від чашкового манометра розміщенням посудини малого діаметру (під кутом до горизонту). Тиск, що визначається манометром з похилої трубкою, обчислюється за формулою

$$p = \rho g h \sin(\alpha), \quad (2.11)$$

де h – висота зрівноважуючого стовпа рідини;

ρ – питома маса робочої рідини; α – кут нахилу трубки до горизонту.

2.3. Механічні прилади вимірювання тиску

Механічні прилади знайшли широке розповсюдження для вимірювання надлишкового тиску і вакууму.

Механічні прилади базуються на деформації пружних елементів під дією

вимірюваного тиску. Ці прилади мають цінні властивості – універсальність, простота конструкції, простота виготовлення, великий діапазон вимірювання і т.д. Завдяки цьому механічні прилади набули найбільшого поширення.

Механічні прилади випускаються класів точності від 0,005 до 6,01.

У механічних приладах сила, що створюється тиском, зрівноважується силами, що виникають при деформації пружних елементів. По величині пружної деформації елемента визначається вимірюваний тиск (розрідження).

Основні типи пружних елементів механічних приладів показані на рис. 2.7.

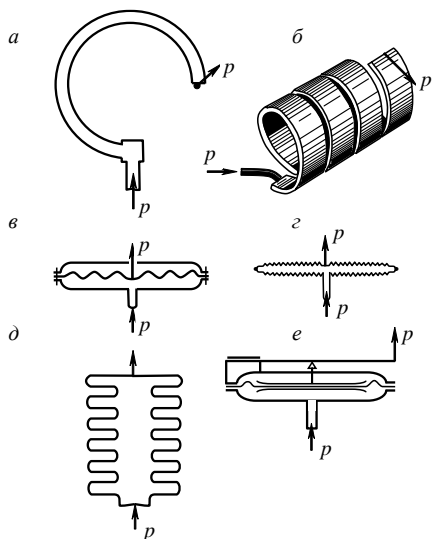


Рис. 2.7 – Пружні елементи пружинних приладів: а – з трубчастою одновитковою пружиною, б – з багатовитковою (гелікоїдальною) трубчастою пружиною, в – з пластинчастою мембраною, г – з мембранною коробкою, д – з гармоніковою мембраною, е – з сільфоном, е – з м'якою мембраною

Манометр з одновитковою трубчастою пружиною (манометр Бурдона). Ці прилади (рис. 2.8) набули найбільшого поширення для вимірювання тиску. Пружними елементами цих приладів є порожнисті трубки овальної або еліптичної перетину, зігнуті по колу на 180–

270°. Один кінець трубчастої пружини 1 закритий пробкою і через поводок 4 і зубчатий сектор 3 з'єднується з маленькою шестернею, закріпленою на осі стрілки 2 приладу. Інший кінець трубчастої пружини впаяний у тримач 5, який забезпечений штуцером 6 з різьбою для приєднання манометра до джерела вимірюваного тиску.

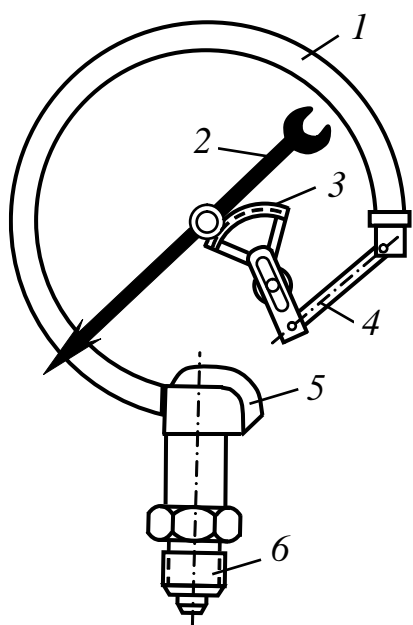


Рис. 2.8 – Схема манометра з одновитковою трубчастою пружиною

При подачі надлишкового тиску у внутрішню порожнину пружини остання випрямляється, внаслідок чого вільний кінець переміщується. Переміщення вільного кінця пружини за допомогою поводка, зубчатого сектори і шестерні передається до стрілки, яка повертається, показуючи на шкалі величину вимірюваного тиску.

Величина переміщення кінця трубки складає декілька міліметрів, тому для отримання більшого кута повороту стрілки манометра застосовується передавальний механізм. Для усунення люфту між зубами шестерні і зубами сектора вісь стрілки забезпечується спіральною пружиною.

Манометри з одновитковою трубчастою пружиною випускаються з верхніми межами вимірювання від 0,1 до 10^9 Па.

Ці манометри застосовуються також і для вимірювання вакууму. Шкали вакуумметра градуують в *мм рт. ст.*, з межею вимірювання до *760 мм рт. ст.* (*101325 Па*).

Точність вимірювання тиску даними приладами невисока: похибка складає 3–4%. Якщо пружинна трубка манометра виконана з пружної сталі, що легко кородується водою і тим більше розчинами солей, то трубку Бурдона заповнюють силіконовим маслом, тиск на який передається через сильфоний роздільник.

Манометри з одновитковою трубчастою пружиною завдяки простоті будови, надійності дії і великому діапазону вимірювання знайшли широке розповсюдження для вимірювання тиску газу (кисню, аміаку, ацетилену і т. д.), повітря, пари і мазуту в трубопроводах. Корпуси манометрів забарвлені в певний колір залежно від виду газу і забезпечені відповідними написами.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними положеннями. Узагальнити класифікацію приладів для вимірювання тиску у вигляді схеми або таблиці (на вибір студента).

2. Накреслити схему, описати принцип роботи та заповнити таблицю 2.1 для манометра з одновитковою трубчастою пружиною.

Таблиця 2.1

Назва приладу	<i>Тут має бути ваша відповідь</i>
Межі вимірювань:	<i>Тут має бути ваша відповідь</i>
Переваги приладу:	<i>Тут має бути ваша відповідь</i>
Недоліки приладу:	<i>Тут має бути ваша відповідь</i>
Область використання:	<i>Тут має бути ваша відповідь</i>

3. Якою буде різниця тисків Δp у колінах диференціального манометра, якщо $h = \text{_____ мм}$, $\rho_1 = \text{_____ кг / м}^3$, $\rho_2 = \text{_____ кг / м}^3$. Номери варіантів вибрати з таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Остання цифра порядкового номера в журналі академгрупи	Рідина, її питома маса $\rho_1, \text{кг / м}^3$	Рідина, її питома маса $\rho_2, \text{кг / м}^3$	Різниця рівнів рідини, $h, \text{мм}$
1	Вода, 1000	Ртуть, 13600	50
2	Гліцерин, 1245	Ртуть, 13600	60
3	Бензин, 700	Ртуть, 13600	70
4	Гас, 800	Ртуть, 13600	80
5	Спирт, 790	Ртуть, 13600	90
6	Дизельне пальне, 850	Ртуть, 13600	100
7	Нафта, 950	Ртуть, 13600	110
8	Масло індустріальне 12, 880	Ртуть, 13600	120
9	Масло турбінне, 900	Ртуть, 13600	130
0	Масло трансформаторне, 880	Ртуть, 13600	140

$\Delta p =$ _____

4. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання:

1. Яке основне призначення приладів для вимірювання тиску в гідравлічних системах?
2. Як класифікують прилади для вимірювання тиску за вимірюваною величиною?
3. Які прилади використовуються для вимірювання атмосферного тиску?
4. Для яких цілей застосовують п'єзметри, манометри та вакуумметри?
5. Що вимірюють мановакуумметри, тягоміри, напороміри та диференціальні манометри?
6. У чому полягає різниця між манометром і диференціальним манометром?
7. Які існують основні принципи дії приладів для вимірювання тиску?
8. Як працюють рідинні прилади вимірювання тиску?
9. У чому полягає принцип вимірювання тиску в рідинному манометрі?
10. Які переваги і недоліки мають рідинні прилади вимірювання тиску?
11. З яких основних частин складається барометр і який принцип його роботи?
12. Для чого застосовують п'єзметри і яка формула використовується для визначення тиску цим приладом?
13. У чому полягає принцип дії рідинного вакуумметра?
14. Як працює диференціальний манометр і що визначається за допомогою цього приладу?
15. Чим відрізняються U-подібний, чашковий і мікроманометр з похилою трубкою?
16. Як впливає температура на показання рідинних манометрів і як враховується ця похибка?
17. У яких межах вимірювань застосовується чашковий манометр?
18. Яка формула використовується для обчислення тиску у мікроманометрах із похилою трубкою?
19. Який фізичний принцип покладено в основу роботи механічних приладів для вимірювання тиску?
20. Які типи пружних елементів застосовуються в механічних приладах (манометрах)?
21. У чому полягає принцип дії манометра Бурдона (з одновитковою трубчастою пружиною)?
22. Які частини входять до конструкції пружинного манометра і яку функцію вони виконують?
23. Які межі вимірювань мають манометри з трубчастою пружиною?
24. Для яких середовищ найчастіше застосовуються пружинні манометри?
25. Які недоліки має манометр із одновитковою трубчастою пружиною?
26. Як можна підвищити точність вимірювань механічного манометра?
27. У яких випадках для захисту пружного елемента манометра застосовується заповнення маслом або використання роздільників?

Лабораторна робота №3

Властивості гідростатичного тиску

Мета роботи: Перевірити на експериментальній установці властивості гідростатичного тиску

Прилади та обладнання: манометр рідинний, датчик тиску (кругла плоска коробка з металевими тримачами), еластична трубка, посудина з водою, лінійка.

Теоретичні положення

Тиском p , [Па] називається відношення сили, що направлена перпендикулярно поверхні, до площі цієї поверхні. За рівномірного розподілу сили

$$p = \frac{F}{S},$$

де F – сила, направлена по перпендикулярно до поверхні, H ; S – площа поверхні, m^2 .

Тиск – скалярна величина, отже не залежить від напрямку. Загальнішим поняттям, ніж поняття тиску є поняття **напруження**. У анізотропних середовищах (твердих тілах) деформація залежить від напрямку прикладеної сили, тому для опису дії сили в таких середовищах використовується інша величина: тензор механічних напружень. Поняття тиску найкраще характеризує пружні властивості газів та рідин.

Абсолютний (повний тиск) $p_{абс}$ – це тиск, що відраховується від абсолютного нуля (рис. 1).

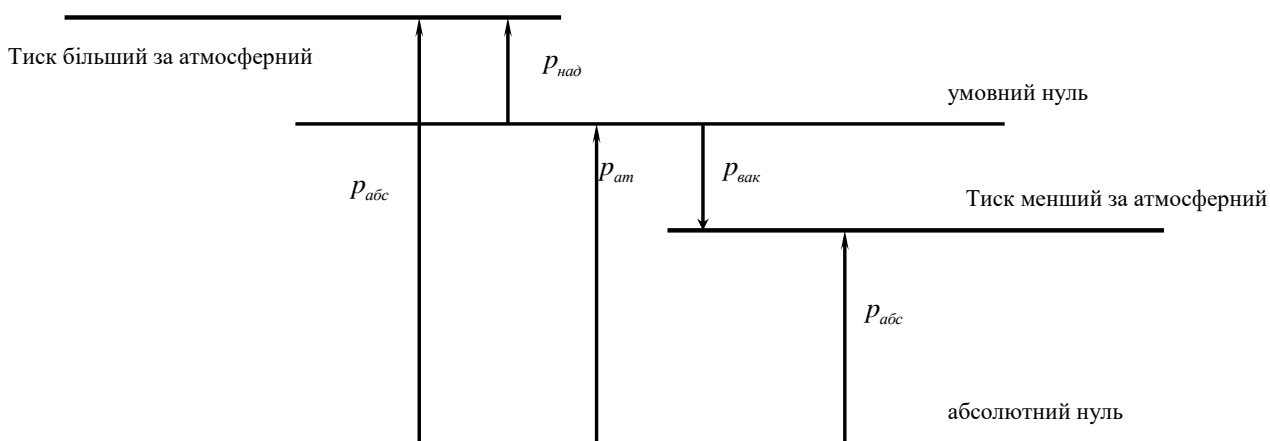


Рисунок 1 – Види тиску

Тиск в нерухомій рідині називається **гідростатичним** і характеризується наступними властивостями:

1. Тиск у рідині є напруженням стиску. На зовнішній поверхні рідини напруження стиску (тиск) направлений по нормалі в середину поверхні рідини.

2. В будь-якій точці в середині рідини значення тиску однакове в усіх напрямках, тобто не залежить від кута нахилу площини, по якій він діє.

3. Значення тиску залежить від координат точки у просторі.

Для вимірювання величини гідростатичного тиску можна застосувати рідинні манометри. Найпростішим типом рідинного манометра є U-подібний манометр, схема якого представлена на рис. 2. Якщо один кінець трубки з'єднати з середовищем, в якому вимірюється тиск, а інший залишити відкритим, то в одному коліні манометра рідина опуститься, а в іншому підніметься і надлишковий тиск (розрідження) визначиться за формулою

$$p = \rho gh, \quad (3.1)$$

де h – різниця висот робочої рідини в трубках. ρ – питома маса рідини.

Висота h в манометрі не залежить від форми і перерізу трубок, а залежить лише від тиску і питомої ваги рідини. Використання рідини більшої питомої маси ніж вода дозволяє значно зменшити висоту трубки рідинного манометра.

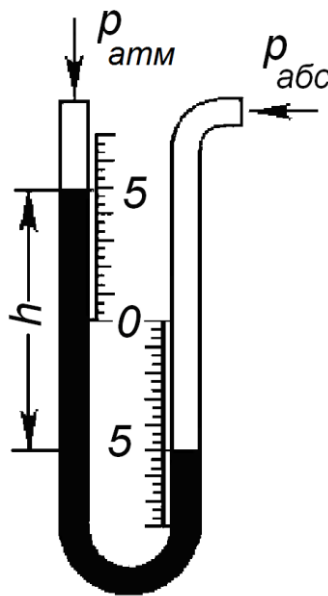


Рисунок 2 – Рідинний манометр

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 3) складається з посудини з водою 1, рідинного манометра 2, датчика тиску 3 (круглої плоскої коробки з металевими тримачами), одна сторона якого затянута гумовою плівкою, а інша за допомогою еластичної трубки 4 з'єднана з рідинним манометром. Під час проведення дослідів датчик тиску поміщають в посудину з водою.

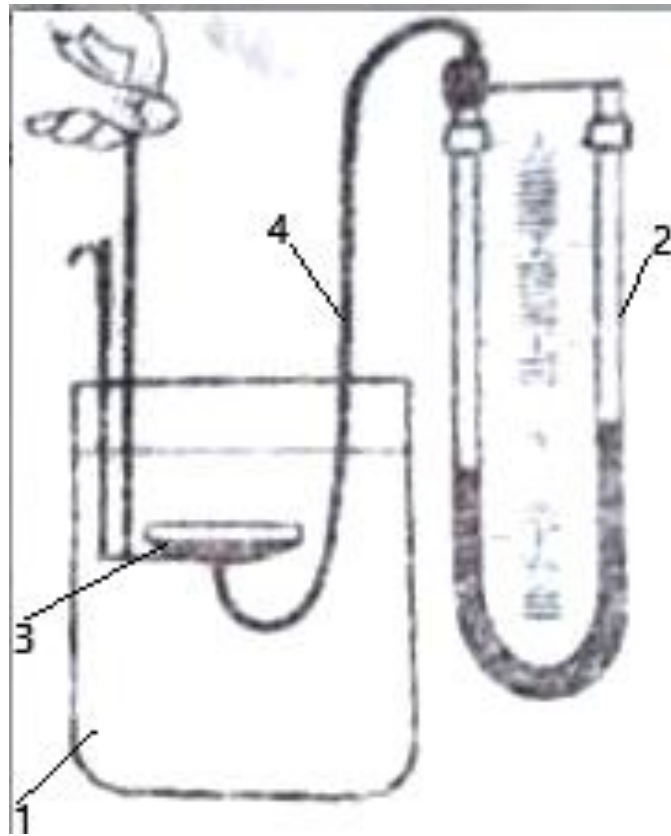


Рисунок 3 – Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями. Записати властивості гідростатичного тиску. Накреслити рідинний манометр та описати його будову.

2. Накреслити схему лабораторної установки та описати її будову.

3. Залити воду у манометр 2. З'єднати його еластичною трубкою з датчиком тиску. Перевірити чи працює датчик тиску, натиснувши на нього пальцем. При цьому рівень рідини в трубках манометра повинен змінитися: зменшитися в коліні, що з'єднане з датчиком тиску і збільшитися в іншому коліні.

4. Перевірити другу властивість гідростатичного тиску. Для цього помістити датчик в посудину з водою на довільну постійну глибину гумовою плівкою вниз, вгору та вбік. Записати покази рідинного манометра h_1 , h_2 , h_3 . Зробити висновки про виконання другої властивості гідростатичного тиску.

Дані занести в таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Перевірка другої властивості гідростатичного тиску

Розміщення гумової плівки датчика тиску	Покази рідинного манометра, h_i , м
внизу	
вгорі	
збоку	

5. Перевірити третю властивість гідростатичного тиску. Для цього помістити датчик тиску в посудину з водою на глибини H_1 , H_2 , H_3 та виміряти

глибини лінійко. Записати покази рідинного манометра h_1, h_2, h_3 та обчислити надлишковий тиск p_1, p_2, p_3 за формулою (3.1). Зробити висновки про виконання третьої властивості гідростатичного тиску.

Дані занести в таблицю 3.2

Таблиця 3.1 – Перевірка третьої властивості гідростатичного тиску

Глибина занурення датчика тиску, h_i , м	Покази рідинного манометра, h_i , м	Надлишковий тиск, p Па

б. Зробити загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Що таке гідростатичний тиск.
2. Дайте визначення абсолютного тиску.
3. Дайте визначення надлишкового тиску.
4. Дайте визначення вакууметричного тиску.
5. Сформулюйте першу властивість гідростатичного тиску.
6. Сформулюйте другу властивість гідростатичного тиску.
7. Сформулюйте третю властивість гідростатичного тиску.
8. Опишіть будову та принцип роботи рідинного U-подібного манометра.
9. Як визначити гідростатичний тиск за допомогою рідинного манометра.
10. Для чого використовувати в рідинних манометрах рідину більшої питомої маси чим вода.

Лабораторна робота №4

Основне рівняння гідростатики

Мета роботи: Провести досліdну перевірку основного рівняння гідростатики

Прилади та обладнання: манометр рідинний, датчик тиску (кругла плоска коробка з металевими тримачами), еластична трубка, посудина з водою, лінійка.

Теоретичні положення

Лабораторна робота проводиться на установці, що призначена для демонстрації основного рівняння гідростатики, згідно якого гідростатичний напор для всіх точок замкненого об'єму рідини, що перебуває, у стані рівноваги є величина постійна

$$H = z + \frac{p}{\rho g} = \text{const}, \quad (4.1)$$

де p – тиск у точці, розміщеній на висоті z від горизонтальної площини порівняння $O-O$ (рис. 4.1).

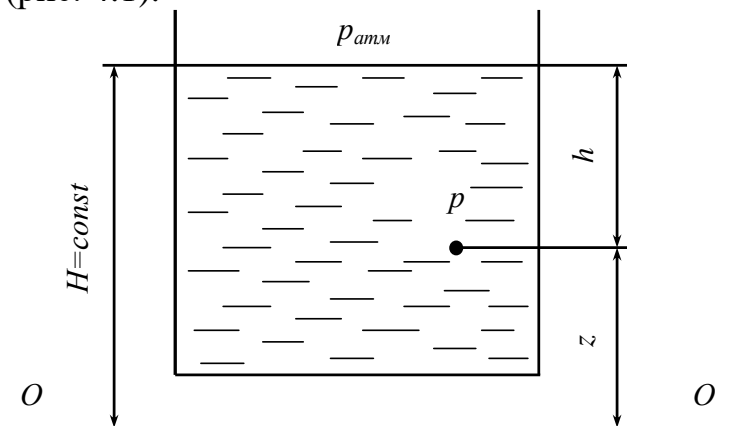


Рисунок 4.1 – До визначення тиску в довільно вибраній точці об'єму рідини

Доданок $\frac{p}{\rho g}$ формули (4.1) називається п'езометричною висотою або висотою тиску. Якщо p , являє собою абсолютний тиск, то величину $\frac{p}{\rho g}$ називають абсолютною п'езометричною висотою. В окремому випадку, коли тиск відраховується у надмірній системі ($p_{ман}$) величину $\frac{p_{ман}}{\rho g}$ називають п'езометричною висотою.

Висота z називається геометричною висотою. Сума величин $z + \frac{p}{\rho g}$ називається гідростатичним напором і позначається H .

Рівняння (4.1) можна представити відносно напору H :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} = \dots = z_n + \frac{p_n}{\rho g} = \dots = H = \text{const}, \quad (3.2)$$

тобто гідростатичний (п'єзометричний) напор у всіх точках даного об'єму рідини, що знаходиться в стані спокою, відносно довільно вибраної площини порівняння є величиною постійною.

Рівняння (4.2) можна записати у вигляді, зручному для вимірювання тиску:

$$p = p_0 + \rho gh, \quad (4.3)$$

де p_0 – тиск, який діє на вільну поверхню рідини.

Рівняння (4.3) є другою формою запису основного рівняння гідростатики: тиск у даній точці рідини, що знаходиться в стані спокою, є сумою тиску p_0 , який діє на вільну поверхню рідини, і вагового тиску ρgh .

Згідно з основним законом гідростатики, тиск у точці визначається тільки тиском на вільній поверхні рідини і відповідним цій точці ваговим тиском. Рівняння (4.3) є також підтвердженням закону Паскаля: тиск, створений на поверхні рідини, яка знаходиться в стані спокою, передається у всі точки її об'єму. Дійсно, для будь-якої точки об'єму рідини у формулу для визначення тиску входить постійна складова p_0 .

Оскільки надлишковому (ваговому) тиску в будь-якій точці рідини відповідає, цілком визначена висота її стовпа над тією точкою, то цей принцип використовується в найпростіших рідинних приладах для вимірювання надлишкового тиску – п'єзометрах і рідинних манометрах.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 4.2) складається з посудини з водою 1, рідинного манометра 2, датчика тиску 3 (круглої плоскої коробки з металевими тримачами), одна сторона якого затягнута гумовою плівкою, а інша за допомогою еластичної трубки 4 з'єднана з рідинним манометром. Під час проведення дослідів датчик тиску поміщають в посудину з водою.

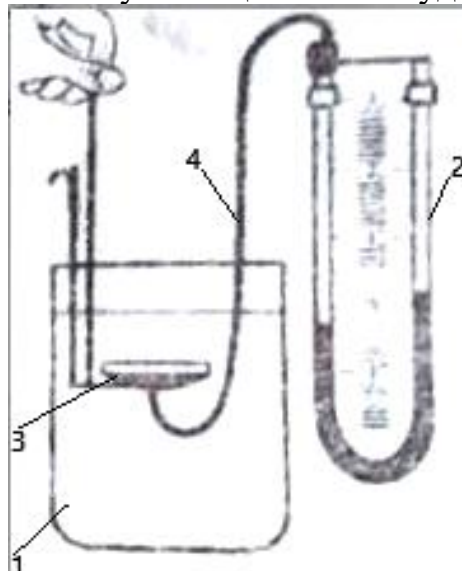


Рисунок 4.2 – Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями. Записати основне рівняння гідростатики та закон Паскаля, а також їх графічну ілюстрацію.

2. Накреслити схему лабораторної установки та описати її будову.

3. Залити воду у рідинний манометр 2. З'єднати його еластичною трубкою з датчиком тиску. Перевірити чи працює датчик тиску, натиснувши на нього пальцем. При цьому рівень рідини в трубках манометра повинен змінитися: зменшитися в коліні, що з'єднане з датчиком тиску і збільшитися в іншому коліні.

4. Помістити датчик тиску в посудину з водою 1 на глибину, що рівна приблизно половинні глибини рідини в посудині.

5. Приймавши за площину порівняння дно посудини записати відстань від площини порівняння до точки розміщення датчика тиску z , відстань від вільної поверхні рідини до точки h покази рідинного манометра h_p .

6. Обчислити тиск p_1 в точці за формулою

$$p = \rho g h_p$$

7. Обчислити гідростатичний напор H за формулою (1).

8. Помістити датчик тиску в точку 2 на глибину, що рівна приблизно 1/4 глибини рідини в посудині.. Повторити пункти 5-7 порядку виконання роботи.

9. Помістити датчик тиску в точку 3 на глибину, що рівна приблизно 3/4 глибини рідини в посудині.. Повторити пункти 5-7 порядку виконання роботи.

10. Зробити висновки про виконання основного рівняння гідростатики.

Дані занести в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Перевірка основного рівняння гідростатики

№ дослідної точки	Відстань від площини порівняння до точки z , м	Відстань від вільної поверхні рідини до точки h , м	Покази рідинного манометра h_p , м	Надлишковий гідростатичний тиск в точці p , Па	Гідростатичний напор H , м
Точка 1					
Точка 2					
Точка 3					

Контрольні питання

1. Сформулюйте основне рівняння гідростатики.
2. Наведіть дві форми запису основного рівняння гідростатики?
3. Що таке абсолютна п'єзометрична висота?
4. Що таке п'єзометрична висота?
5. Що таке гідростатичний напір і в чому він вимірюється?
6. Сформулюйте закон Паскаля.
7. Опишіть будову лабораторної установки.
8. Опишіть порядок виконання роботи.

Лабораторна робота 5

Гідростатичне зважування тіл

Мета роботи: Ознайомитися з методом гідростатичного зважування та визначення густини твердих тіл методом гідростатичного зважування.

Прилади та обладнання: посудина з водою, відро циліндричне, динамометр, штангенциркуль, чотири тіла рівного об'єму.

Теоретичні положення

На тіло, занурене в рідину, за законом Архімеда діє виштовхувальна сила F_A , яка дорівнює вазі рідини, витісненої тілом:

$$F_A = \rho_p g V, \quad (5.1)$$

де ρ_p – питома маса (густина) рідини; V – об'єм зануреної в рідину частини тіла.

Сила тяжіння, що діє на тіло:

$$F_T = m_T g = \rho_T V_T g, \quad (5.2)$$

де m_T – маса тіла; ρ_T – питома маса (густина) тіла; V_T – об'єм тіла.

Порівнюючи вагу тіла в повітрі – силу тяжіння F_T і виштовхувальну силу F_A виділяють три випадки (рис. 5.1):

1. $F_T > F_A$ – тіло тоне;
2. $F_T = F_A$ – тіло плаває, частково занурившись в рідину;
3. $F_T < F_A$ – тіло випливає доти, доки F_T не зрівняється з силою F_A .

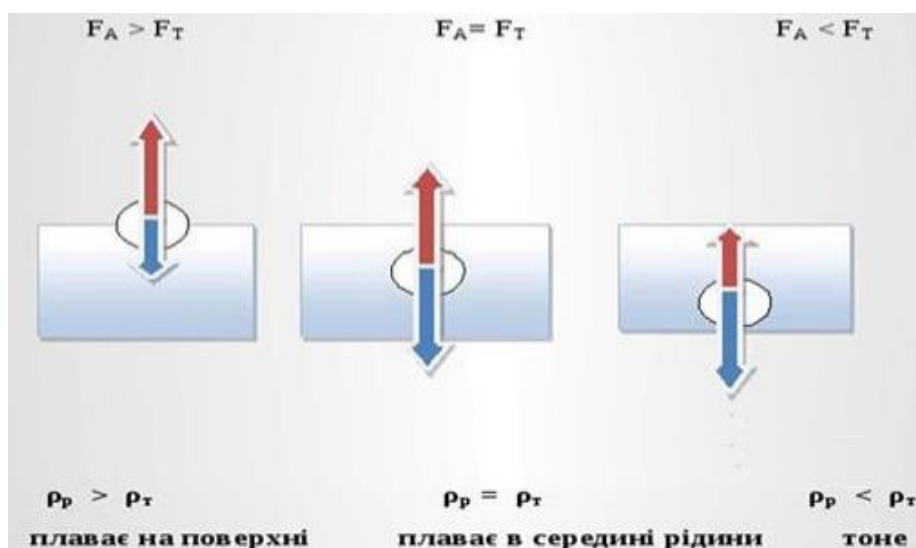


Рисунок 5.1 – Умова плавання тіл

У другому і третьому випадках можна визначити питому масу тіла за

допомогою рідни.

Так, у другому випадку, коли $F_T = F_A$ прирівнявши (5.1) та (5.2) отримаємо:

$$\rho_P V = \rho_T V_T \quad (5.3)$$

Звідки питома маса тіла:

$$\rho_T = \frac{\rho_P V}{V_T}; \quad (5.4)$$

У випадку якщо тіло циліндричної форми, занурено в рідину як показано на рис. 5.2 отримаємо:

$$\rho_T = \frac{\rho_P h}{H}; \quad (5.5)$$

де h – висота зануреної під вільну поверхню рідини частини тіла; H – висота тіла.

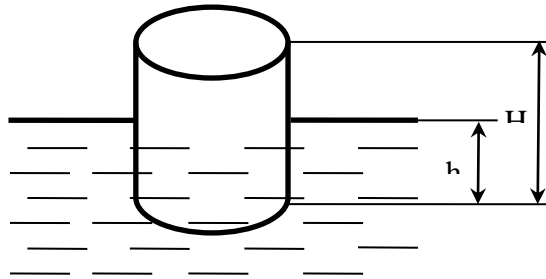


Рисунок 5.2– До визначення питомої маси тіла, що плаває частково занурившись в рідину

У третьому випадку вага тіла, зануреного у рідину буде меншою, ніж вага тіла на повітрі, оскільки на тіло діє виштовхувальна сила Архімеда:

$$F_P = F_T - F_A, \quad (5.6)$$

де F , F_P – відповідно вага тіла на повітрі і у воді.

Враховуючи (5.1), (5.2), (5.6) відношення:

$$\frac{F_T}{F_T - F_P} = \frac{F_T}{F_A} = \frac{\rho_T g V}{\rho_P g V} = \frac{\rho_T}{\rho_P} \dots \quad (5.7)$$

Вага тіла в рідині:

$$F_p = F_T \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_T} \right), \quad (5.8)$$

Питому маса (густина) тіла:

$$\rho_T = \rho_p \frac{F_T}{F_T - F_p}. \quad (5.9)$$

Суть методу гідростатичного зважування полягає в тому, що густина твердих тіл визначається подвійним зважуванням: спочатку тіло зважують у повітрі (при цьому в багатьох випадках нехтують виштовхувальною силою, що діє на тіло у повітрі), а потім - у рідині, густина якої відома (наприклад, у воді). Гідростатичне зважування з давніх часів застосовується для визначення густини різних речовин.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 5.3) складається з посудини з водою 1, динамометра 2, циліндричного відра 3, в який поміщають тіла рівного об'єму 4). Покази динамометра фіксують при зважування тіла у повітрі (рис 5,3, а) та у воді (рис. 5.3, б).

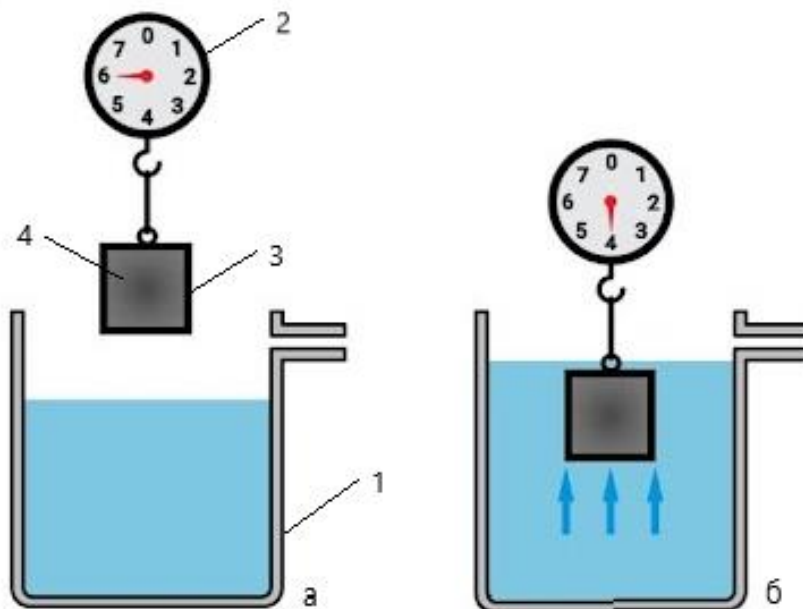


Рисунок 5.3 – Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями. Записати формулу для визначення сили Архімеда, умови плавання тіл, виведення формули для визначення густини за умови неповного і повного занурення.
2. Накреслити схему лабораторної установки та описати її будову.
3. Виміряти об'єми геометричні розміри тіл 4 діаметр основи D і висоту H штангенциркулем.

4. Об'єми тіл 4 визначити як об'єми циліндрів:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H.$$

5. Під'єднати динамометр до відра. Почергово помістити в відро з тілами 4 і їх зважити спершу на повітрі, визначивши вагу F_T .

6. Плавно опускаючи відро з тілами 4 в воду ($\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$) спостерігати зменшення показів динамометра та наступну їх стабілізацію.

7. Якщо тіло 4 після стабілізації показів динамометра плаває, частково занурившись у рідину, виміряти висоту зануреної під вільну поверхню рідини частини тіла h та обчислити питому масу тіла за формулою (5.5).

8. Якщо тіло повністю зануриться в рідину, виміряти вагу тіл 4 в рідині F_p та обчислити питому масу тіла за формулою (5.9).

9. Дані вимірювань та обрахунків занести в таблицю 5.1. Користуючись відкритими джерелами інформації визначити матеріал тіл.

Таблиця 5.1 – Визначення питомої маси тіл методом гідростатичного зважування

№ тіла	Діаметр D, м	Висота, H, м	Об'єм V, м ³	Вага тіла на повітрі G, Н	Вага тіла в рідині, G _p , Н	Висота зануреної частини тіла, h, м	Питома маса тіла, ρ , кг/м ³	Матеріал тіла

9. Зробити висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон Архімеда.
2. Сформулюйте умови плавання тіл.
3. В чому суть методу гідростатичного зважування?
4. Наведіть формулу для визначення питомої маси тіла методом гідростатичного зважування.
5. Опишіть схему лабораторної установки.
6. Опишіть послідовність виконання роботи.
7. Наведіть формулу для визначення об'єму тіла циліндричної форми.
8. Яким чином визначити матеріал тіла, знаючи його питому масу?

Лабораторна робота 6

Рівновага та стійкість тіл, занурених у рідину

Мета роботи: Ознайомитися з умовами рівноваги та стійкості тіл, занурених у рідину.

Прилади та обладнання: посудина з водою, посудина з поділками та кришкою, модель підводного човна, груша нагнітаюча.

Теоретичні положення

На тіло, занурене в рідину, діє відштовхувальна сила рівна силі ваги рідини в об'ємі цього тіла. Це положення відоме під назвою закону Архімеда (грецький учений, що жив у III ст. до н.е.).

На тіло, занурене цілком чи частково в рідину, діють дві сили:

1) сила тяжіння тіла F_T , прикладена в його центрі ваги C , що діє зверху вниз;

2) виштовхувальна сила F_A , прикладена в центрі тиску або, іншими словами, у центрі водотоннажності D , що спрямована знизу вгору (рис. 6.1). Центром водотоннажності є центр ваги витиснутого об'єму рідини. У залежності від співвідношення сил F_T і F_A можуть бути три стани тіла, зануреного в рідину:

1) якщо $F_T > F_A$, тіло тоне;

2) якщо $F_T = F_A$, тіло знаходиться в середині рідини в стані спокою (тіло плаває в зануреному стані);

3) якщо $F_T < F_A$, тіло спливає доти, поки сила ваги витиснутої рідини (сила Архімеда) F_A не буде дорівнювати силі ваги тіла F_T .

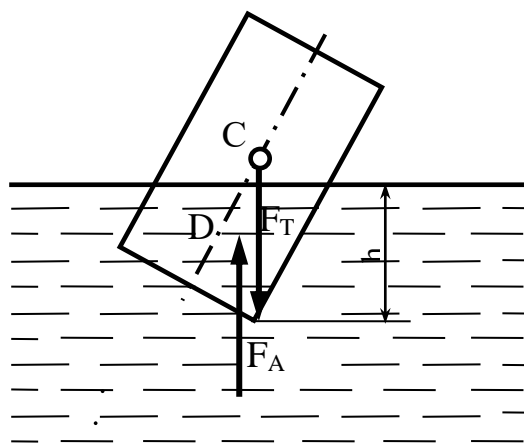


Рисунок 6.1 – Сили, що діють на тіло, занурене у рідину

Розглянемо умову плавучості тіл. Для рівноваги тіла, що плаває на вільній поверхні, умови $F_T = F_A$ недостатньо. З рис. 6.1 бачимо, що у випадку, якщо центр ваги тіла і центр тиску не лежать на одній вертикалі, наприклад, при нахилі (крені) тіла, з'являється пара сил F_T і F_A , що прагне повернути тіло. Тому, умов рівноваги тіла, що плаває, буде дві:

1) центр ваги тіла і центр тиску повинні лежати на одній вертикалі.

2) $F_T = F_A$.

Лінія перетину вільної поверхні рідини з поверхнею тіла, плаває (наприклад, баржі, понтона тощо) називається *ватерлінією*.

Глибина занурення найнижчої точки під рівень вільної поверхні називається *глибиною занурення чи осадом* (h на рис. 6.1).

Об'єм рідини, витиснутий тілом, називається *об'ємною водотоннажністю*.

Сила ваги об'єму рідини, витисненого тілом, називається *ваговою водотоннажністю* (дорівнює відштовхуючій силі F_A).

Стійкістю називається здатність тіла, що плаває, відновлювати положення рівноваги після того, як зникне причина, що порушила рівновагу. Розглянемо рівновагу тіл, що плавають, зображених на рис. 6.2.

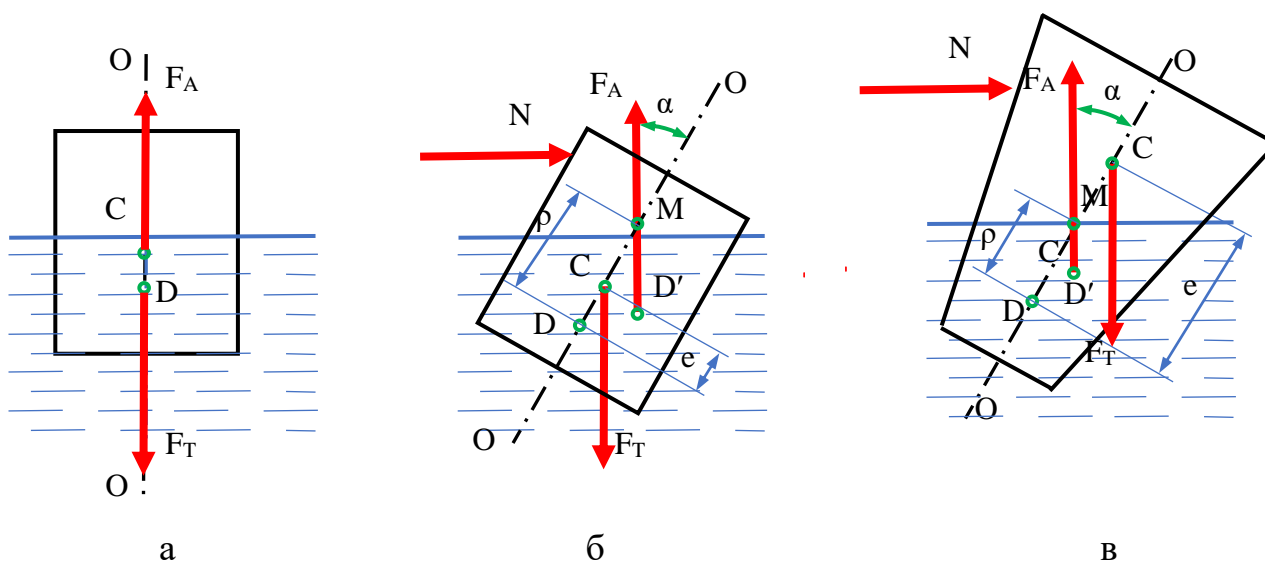


Рисунок 6.2 – Стійкість тіл, занурених у рідину

На рис. 6.2, а тіло, що плаває, знаходиться в стані рівноваги, тому що центр ваги С і центр водотоннажності D знаходяться на одній вертикальній лінії O-O, яка називається *віссю плавання*.

Якщо до тіла прикласти бічну силу N (на судно може діяти, наприклад, вітер), то тіло під дією цієї сили нахилиться на деякий кут α . У цьому випадку центр ваги тіла С залишиться на місці, а центр водотоннажності D переміститься в положення D' (рис. 1.24, б, в). Якщо продовжити лінію дії сили Архімеда F_A , прикладеної в новій точці D', вгору, то вона перетне вісь плавання (O-O) у деякій точці M, що називається *метацентром*. Можливі три випадки рівноваги:

1. Якщо метацентр (точка M) лежить вище центра ваги (точки C), то пара сил F_T , F_A (рис. 6.2, б) зрівноважить дію бічної сили N і після припинення дії сили N тіло повернеться в початкове положення, рівновага тіла буде стійкою. У цьому випадку говорять, що тіло, що плаває, *стійке*.

2. Якщо метацентр M лежить нижче центра ваги C (рис. 6.2, в), то пара сил F_T , F_A прагне збільшити крен тіла, і рівновага тіла, що плаває, буде *нестійкою*.

3. Якщо метацентр M збігається з центром ваги C , то тіло що плаває нестійке, тому що нормальне положення після крену не відновлюється.

При невеликому крені тіла метацентр переміщається по деякій дузі кола з радіусом ρ , що називається метацентричним радіусом. Позначивши відстань між центром ваги і центром водотоннажності по осі плавання через e , умови рівноваги плаваючого тіла можна записати так:

$\rho > e$ – рівновага стійка;

$\rho < e$ – рівновага нестійка;

$\rho = e$ – рівновага байдужна.

Таким чином, для стійкості тіла, що плаває на вільній поверхні рідини, необхідно, щоб метацентричний радіус ρ був більшим, чим відстань між центром ваги і центром водотоннажності, або метацентр повинний знаходитися вище центра ваги тіла.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка складається з посудини з водою 1 (рис. 6.3), посудини з поділками 2, моделі підводного човна 3, груші 4 та еластичної трубки 5 для з'єднання моделі підводного човна з грушею.

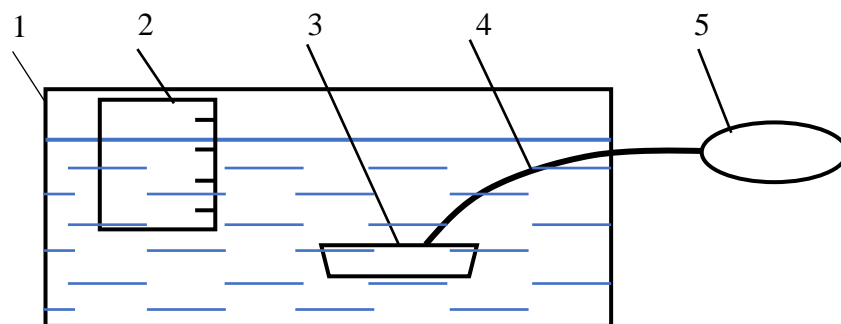


Рисунок 6.3 – Схема лабораторної установки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями. Записати визначення, умови рівноваги та стійкості тіл занурених у рідину.
2. Описати будову лабораторної установки.
3. Для виявлення умов плавання тіл у рідині заповнити посудину з поділками водою до першої риски знизу і занурити у посудину з водою. Спостерігати плавання посудини. Прикласти бічне зусилля і зробити висновок про стійкість посудини з поділками.
4. Додати води до другої риски. Повторити дослід
5. Додати води до третьої риски. Повторити дослід
6. Додати води до четвертої риски. Повторити дослід
7. Записати результати спостережень у таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Умови плавання тіл

Рівень рідини в посудині з поділками	Схема плавання тіла згідно рис. 6.2 (накреслити схему)	Умова рівноваги (стійка, байдужа, нестійка і пояснення)
Перша поділка		
Друга поділка		
Третя поділка		
Четверта поділка		

8. З'єднати модель підводного човна з грушою за допомогою еластичної трубки. Човен знаходиться на поверхні води.

9. Стиснути грушу, витісняючи повітря з груші та човна. Відпустити грушу. Під дією атмосферного тиску вода заходить в модель човна. Човен тоне.

10. Знову стиснути грушу. Човен піднімається. Результати спостережень записати в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Занурення і підйом моделі підводного човна

Положення човна	Схема плавання тіла згідно рис. 6.2 (нарисувати схему)	Пояснення причин занурення (підйому)
Човен на поверхні води		
Човен занурюється у воду		
Човен занурений у воду		
Човен піднімається на поверхню води		

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон Архімеда.
2. Що таке водотонажність?
3. Сформулюйте умови рівноваги тіл, що зануренні у рідину
4. Що таке осад?
5. Що таке стійкість тіл, занурених у рідину?.
6. Сформулюйте умову стійкості тіл, занурених у рідину.
7. Опишіть послідовність виконання роботи.
8. Сформулюйте умови стійкої, нестійкої та байдужої рівноваги.
9. Що таке метацентричний радіус?

Лабораторна робота №7

Дослідна перевірка рівняння Бернуллі

Мета: Провести перевірку основного рівняння гідродинаміки та визначити втрати напору потоку рідини

Теоретичні положення

Лабораторна робота проводиться на симуляторі <https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/BernoulliLab/>, що призначена для демонстрації основного рівняння гідравліки (рис. 4.1). Для потоку реальної (в'язкої) рідини рівняння Бернуллі записується в наступному вигляді:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_{em.1-2}, \quad (7.1)$$

де z_i – відстань від довільно обраної горизонтальної площини до центру ваги i -того перерізу потоку;

p_i – тиск в центрі ваги i -того перерізу;

v_i – середня швидкість рідини в i -тому перерізі;

α_i – коефіцієнт Коріоліса в i -му перерізі, що враховує нерівномірність розподілу швидкостей по перерізу і рівний відношенню дійсної кінетичної енергії до кінетичної енергії того ж потоку при рівномірному розподілі швидкостей. Звичайно його значення в каналах і трубопроводах змінюється в межах 1,05...1,10;

$\sum h_{em.1-2}$ – сумарна гідравлічні втрати напору втрати напору між перерізами 1 і 2, обумовлена в'язкістю.

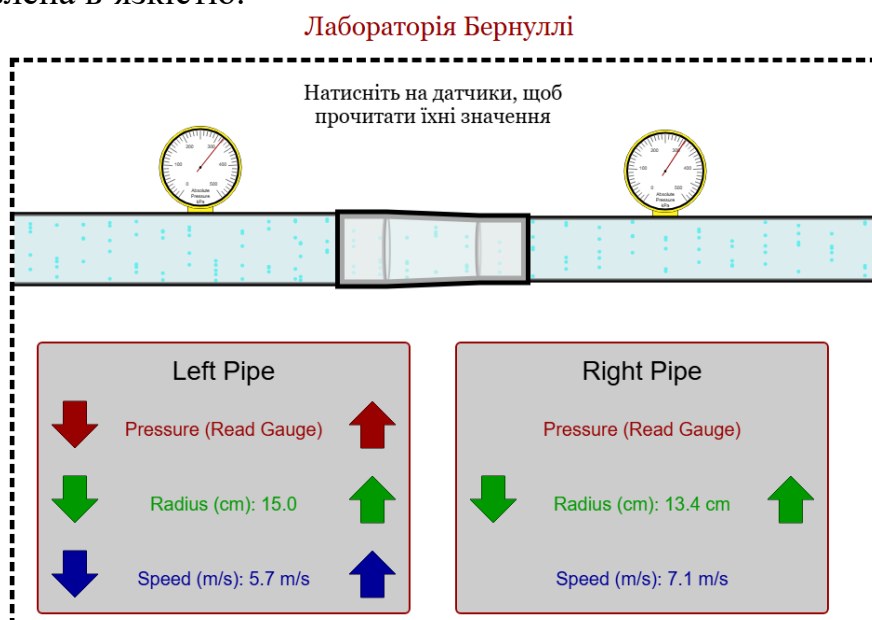


Рисунок 7.1 – Симулятор для перевірки рівняння Бернуллі

З енергетичної точки зору сума трьох доданків $z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} = H_i$ є повною питомою енергією рідини в i -тому перерізі або повним

гідродинамічним напором. Двочлен $z_i + \frac{p_i}{\rho g}$ – це питома потенціальна енергія або п'єзометричний напор в i -тому перерізі, що складається з питомої енергії положення z_i і питомої енергії тиску $\frac{p_i}{\rho g}$; $\frac{\alpha_i v_i^2}{2g}$ – питома кінетична енергія в i -тому перерізі або швидкісний напір; $\sum h_{em.1-2}$ – втрати питомої енергії між перерізами 1 і 2.

З геометричної точки зору z_i – геометрична висота; $\frac{p_i}{\rho g}$ – п'єзометрична висота; $\frac{\alpha_i v_i^2}{2g}$ – швидкісна висота.

Під час руху реальної рідини частина енергії потоку витрачається на подолання сил тертя між шарами рідини та між рідиною і стінками русла. Крім того рух рідини часто супроводжується обертанням частинок, утворюються вихори. Тому частина повного напору втрачається, напір H_2 буде менший за напір H_1 на величину втрат:

$$H_1 = H_2 + \sum h_{em.1-2}. \quad (7.2)$$

Зменшення повного напору по довжині називається гідравлічним ухилом

$$I_{1-2} = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)}{l_{1-2}} = \frac{H_1 - H_2}{l_{1-2}}, \quad (7.3)$$

де l_{1-2} – довжина потоку між перерізами 1 та 2.

Відношення зміни п'єзометричного напору до довжини потоку називається п'єзометричним ухилом:

$$I_{п1-2} = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right)}{l_{1-2}}. \quad (7.4)$$

Відношення зміни геометричної висоти до довжини потоку – геометричним ухилом:

$$I_{Г1-2} = \frac{z_1 - z_2}{l_{1-2}}, \quad (7.5)$$

Геометричний і п'єзометричний похил можуть бути додатними, нульовими та від'ємними. Гідравлічний похил завжди додатній, оскільки лінія повного напору постійно знижується вздовж потоку.

Опис лабораторної установки (симулятора)

Установка (симулятор) являє собою ділянку напірного трубопроводу, на якому в двох перерізах встановлення манометри для вимірювання тиску, а також

визначається миттєва швидкість. Є можливість змінювати діаметри трубопроводів 10,6 см, 11,4 см, 12,1 см, 13,4 см, 14,4 см, 15,0 см, 16,3 см, 17,6 см, 18,5 см, 19,2 см в кожному перерізі, а також змінювання тиск і швидкості в початковому перерізі трубопроводу. Для перегляду тисків потрібно натиснути на манометр у відповідному перерізі. Після зміни будь-яких параметрів системи зміна тисків та швидкостей в перерізах відбувається автоматично.

Порядок виконання роботи

1. Провести десять дослідів з різними параметрами системи довільно змінюючи діаметри, тиски та швидкості в початковому перерізі. Результати занести в таблицю 7.1

Таблиця 7.1 – Результати досліджень, отриманні на симуляторі

№ досліду	Початковий переріз 1			Переріз 2		
	Діаметр, d_1 , м	Тиск p_1 , Па	Швидкість v_1 , м/с	Діаметр, d_2 , м	Тиск p_2 , Па	Швидкість v_2 , м/с

2. Прийняти за площину порівняння при записі рівняння Бернуллі вісь трубопроводу $z_1 = z_2 = 0$

3. Розрахувати для кожного дослідів п'езометричну висоту (питому енергію тиску), швидкісну висоту (питому кінетичну енергію), та повний напір (повну питому енергію). Коефіцієнт Коріоліса прийняти 1,1. Дані занести в таблицю 7.2

Таблиця 7.2 – Результати розрахунків

№ досліду	Початковий переріз 1			Переріз 2			Втрати енергії потоку рідини $\sum h_{ем.1-2}$
	$\frac{p_1}{\rho g}$, м	$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$, м	H_1 , м	$\frac{p_2}{\rho g}$, м	$\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$, м	H_2 , м	

4. Розрахувати втрати енергії потоку рідини $\sum h_{ем.1-2}$. Зробити висновки, чи можна вважати рідину в даному випадку ідеальною і чому.

5. Зробити загальні висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Запишіть основне рівняння гідравліки та охарактеризуйте всі фізичні величини, що в нього входять.
2. Енергетичний зміст рівняння Бернуллі.
3. Геометричний зміст рівняння Бернуллі.
4. Що таке напір? Які види напору ви знаєте?
5. Охарактеризуйте коефіцієнт кінетичної енергії (коефіцієнт Коріоліса).
6. Як позначаються сумарні гідравлічні втрати і чим вони обумовлені?
7. Як визначити геометричний похил? Одиниці вимірювання.
8. Як визначити п'езометричний похил? Одиниці вимірювання.
9. Як визначити гідравлічний похил? Одиниці вимірювання.
10. Що таке витрата? Одиниці вимірювання.

Лабораторна робота №8 Дослідження роботи сифона

Мета: Вивчити фактори, що впливають на швидкість витікання рідини з сифона використовуючи віртуальний симулятор «Siphon Lab»

Теоретичні положення

Сифон – це гідравлічний пристрій у вигляді вигнутої трубки з колінами різної довжини, якою переливають рідину з однієї посудини в іншу, що розташована нижче. Рідина попередньо заповнює трубку, після чого під дією сили тяжіння починає перетікати: потік затягується з верхньої посудини через коліно трубки (що знаходиться вище рівня рідини у цій посудині) і виливається в нижню посудину. Для безперервної роботи сифона необхідно, щоб вихідний кінець трубки був розташований нижче рівня рідини у верхньому резервуарі, а сама трубка була заповнена рідиною без повітря. Як тільки стовп рідини в сифоні порушиться (наприклад, коли рівні рідини в посудинах зрівняються, або в трубку потрапить повітря), перетікання припиниться. Таким чином, рух рідини через сифон підтримується різницею гідростатичного тиску між кінцями трубки, що зумовлена різницею висот рідини в посудинах.

На рис. 8.1 показана схема сифона, який відносять до коротких трубопроводів. Сифон служить для подачі рідини з резервуару 1 у резервуар 2. Рідина в сифоні піднімається вище рівня рідини в резервуарі 1 на величину z , для чого в перерізі II-II сифона створюють вакуум, що забезпечує підйом рідини і її рух. Розрахунком як правило визначають пропускну здатність сифона і граничне значення висоти z .

Витрата через сифон може бути визначена за формулою

$$Q = \varphi \omega \sqrt{2gH}$$

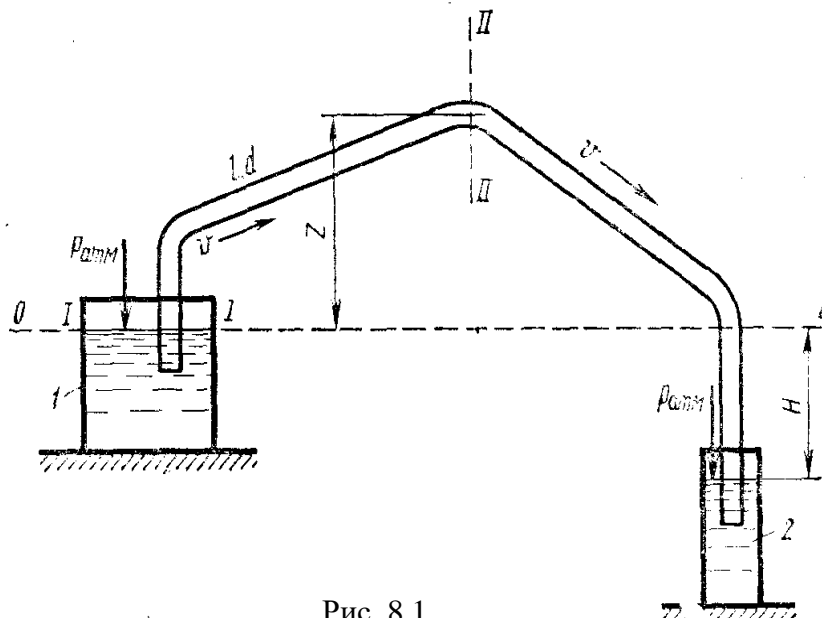


Рис. 8.1

Для визначення висоти z складемо рівняння Бернуллі для перерізів I-I і II-II щодо площини порівняння 0-0, яка співпадає з поверхнею води в резервуарі 1:

$$p_{\text{атм}}/\gamma = z + p_2/\gamma + v^2/(2g) + \Sigma \zeta_m v^2/(2g) + \lambda l v^2/(2g d)$$

де p_2 – тиск у перерізі II – II; v – швидкість руху рідини в трубопроводі сифона. Враховуючи, що $p_{\text{атм}}/\gamma - p_2/\gamma = h_{\text{вак}}$, одержимо

$$h_{\text{вак}} = z + (1 + \Sigma \zeta_M + \lambda l/d) v^2/(2g)$$

і остаточно

$$z = h_{\text{вак}} - (1 + \Sigma \zeta_M + \lambda l/d) v^2/(2g).$$

Враховуючи втрати тиску в сифоні, а також необхідність запобігання кавітації, яка виникає при великих зниженнях тисків, висоту z варто приймати такою, щоб висота $h_{\text{вак}}$ не перевищувала 70 кПа.

Формула Пуазейля описує об'ємну витрату рідини Q , яка проходить через циліндричну трубу при ламінарному русі:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \mu L}$$

де r – радіус труби,

Δp – різниця тисків на кінцях труби,

μ – динамічна в'язкість рідини,

L – довжина труби.

Опис лабораторної установки (симулятора)

Лабораторна робота проводиться на симуляторі <https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/SiphonLab/>, що призначений для визначення впливу різних факторів на швидкість витікання води з сифона (рис. 8.2).

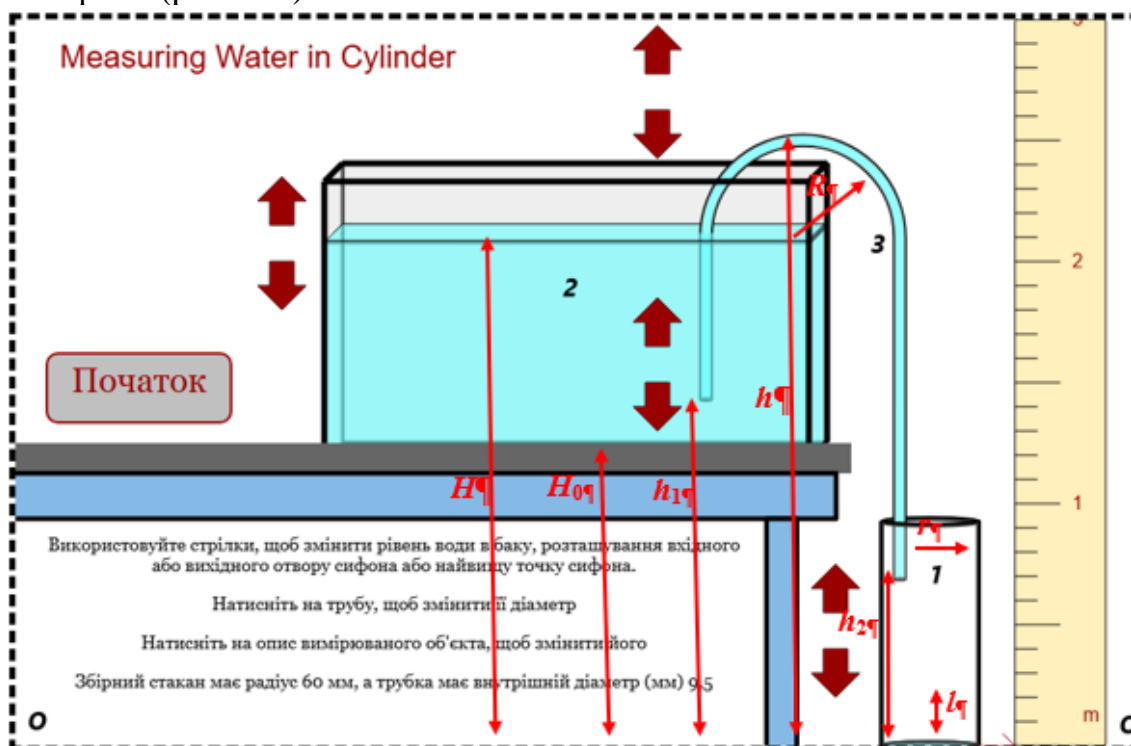


Рисунок 8.1 – Симулятор «Сифонна лабораторія»

Симулятор дає можливість контролювати висоту води в збірному стакані

1, змінювати рівень рідини в баку 2, змінювати висоту зігнутої частини трубки (сифонна) 3, змінювати висоту кінців сифонна. Радіус збірного стакана складає $r=6$ см, радіус повороту трубки сифона становить $R=12$ см і вони є незмінні.

В лівому верхньому кутку симулятора є написи, натискаючи на які лівою кнопкою миші їх можна змінювати, а отже змінювати режими вимірювання:

«Measuring Top of Tube» - вимірювання висоти коліна трубки h . Цей напис з'являється після відкриття симулятора, а горизонтальна стрілка біля зігнутої частини трубки вказує на вимірювальну лінійку для визначення числового значення висоти зігнутої частини сифона h . Вертикальні стрілки «вгору», «вниз» - змінюють висоту зігнутої частини сифона, що й фіксує горизонтальна стрілка на вимірювальній лінійці.

«Measuring Water in Tank» - вимірювання висоти води в баку H . Стрілка на вимірювальній лінійці покаже висоту води в баку. Вертикальні стрілки «вгору», «вниз» - змінюють висоту цієї величини, що й фіксує горизонтальна стрілка на вимірювальній лінійці.

«Measuring Inlet Location» - вимірювання розташування вхідного отвору трубки сифонної системи h_1 . Стрілка на вимірювальній лінійці покаже висоту вхідного отвору трубки сифона. Вертикальні стрілки «вгору», «вниз» - змінюють висоту цієї величини, що й фіксує горизонтальна стрілка на вимірювальній лінійці.

«Measuring Bottom of Tank» - вимірювання дна баку H_0 . Стрілка на вимірювальній лінійці покаже висоту дна бака. Ця висота є незмінна.

«Measuring Outlet Location» - висота місця витікання рідини з сифонну h_2 , Стрілка на вимірювальній лінійці покаже висоту кінця трубки сифона, з якої витікає рідина. Вертикальні стрілки «вгору», «вниз» - змінюють висоту цієї величини, що й фіксує горизонтальна стрілка на вимірювальній лінійці.

«Measuring Water In Cylinder» - вимірювання висоти рідини в збірному стакані l , за наявності цього напису справа від мірної склянки є стрілка, яка (рухаючись, або зупинившись) вказує значення висоти рідини в цьому стакані.

Кнопка **«Start»** - «Початок» при натисканні змінюється на **«Pause»** - «Пауза», тоді ж зверху з'являється напис **«Reset»** - «Скинути» а клацання на написі **«Pause»** - «Пауза» змінює цей напис на **«Resume»** - «Резюме».

У момент запуску симуляції, клацанням на написі **«Start»** - «Почніть», на баку з'являється на сірому полі таймер часу **«Time»**, який фіксує час витікання рідини з сифонної системи.

Змінити рівень води в резервуарі, висоту входу чи виходу води в сифонній системі а також найвищу точку системи можна з допомогою стрілок. Користуючись вимірювальною лінійкою, необхідно чітко визначати значення висоти, визначивши спершу ціну поділки. В лабораторній роботі в якості рідини використовується вода, густина якої складає 1000 кг/м^3 .

Порядок виконання роботи

1. Довільно задайте початкові дані роботи та внесіть їх в таблицю 8.1

Таблиця 8.1 – Початкові дані до роботи

$h, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$l, \text{ м}$

2. Запустіть симулятор натиснувши на написі «Start» або «Почнати». Коли рідина збірному стакані досягне значення, що відповідає l , зупиніть витікання рідини, клацнувши на написі «Pause» чи «Пауза» та запишіть отриманні дані в таблицю 8.2

3. Змініть висоту коліна трубки h , Запустіть симулятор. Коли рідина в збірному стакані досягне значення, що відповідає l , зупиніть витікання рідини, клацнувши на написі «Pause» чи «Пауза» та запишіть отриманні дані в в табл. 8.2

4. Поверніться до даних табл. 1. Змініть висоту рівня води в баку H . Запустіть симулятор. Коли рідина в збірному стакані досягне значення, що відповідає l , зупиніть витікання рідини, клацнувши на написі «Pause» чи «Пауза» та запишіть отриманні дані в в табл. 8.2.

5. Поверніться до даних табл. 1. Змініть розташування вхідного отвору трубки сифонної системи h_1 . Запустіть симулятор. Коли рідина в збірному стакані досягне значення, що відповідає l , зупиніть витікання рідини, клацнувши на написі «Pause» чи «Пауза» та запишіть отриманні дані в в табл. 8.2.

6. Поверніться до даних табл. 1. Змініть розташування висоти місця витоку рідини з сифонної системи h_2 . Запустіть симулятор. Коли рідина в збірному стакані досягне значення, що відповідає l , зупиніть витікання рідини, клацнувши на написі «Pause» чи «Пауза» та запишіть отриманні дані в в табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати дослідження

№ дослідю	$d, м$	$h, м$	$H, м$	$h_1, м$	$h_2, м$	$l, м$	$t, с$	$Q, м^3/с$	$u, м/с$	$\Delta p, Па$	$p_{\text{вак}}, Па$	$\mu, Па \cdot с$	$\nu, м^2/с$
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

7. Повторіть досліди змінивши діаметр трубки сифонна $d, м$.

8. Обрахуйте використовуючи знання з теоретичного курсу гідравліки:

- об'ємну витрату $Q, м^3/с$,
- середню швидкість потоку рідини $u, м/с$,
- перепад тиску на кінцях трубки сифона $\Delta p, Па$,
- динамічний тиск потоку рідини «Рдин» (Па),
- гідростатичний тиск рідини в максимальній точці підйому $p_{\text{вак}}, Па$,
- застосовуючи формулу Пуазейля визначити динамічну вязкість $\mu, Па \cdot с$ і кінематичну $\nu, м^2/с$ рідини (води).

9. Зробіть висновки по роботі.

Контрольні питання

1. □ Що таке сифон і для чого він використовується?
2. За яким принципом відбувається перетікання рідини через сифон?
3. Які умови необхідні для початку роботи сифона?
4. Чому при потраплянні повітря в трубку робота сифона припиняється?
5. Від яких факторів залежить швидкість витікання рідини із сифона?
6. Як впливає різниця рівнів рідини у двох посудинах на роботу сифона?
7. Що таке гідростатичний тиск і яку роль він відіграє у роботі сифона?
8. Яке значення має висота підйому рідини у сифоні?
9. Чому надмірне підвищення висоти коліна сифона може призвести до зупинки потоку?
10. Як пояснити явище кавітації у верхній точці сифона?
11. Які втрати енергії виникають у сифоні під час руху рідини?
12. Чим пояснюється різниця між динамічним і гідростатичним тиском?
13. Як впливає діаметр трубки сифона на інтенсивність витікання рідини?
14. Які параметри можна змінювати у віртуальному симуляторі «Siphon Lab»?
15. Як визначається висота коліна сифона за допомогою симулятора?
16. Яке значення має висота рівня рідини у верхньому баку?
17. Як впливає висота вихідного отвору сифона на швидкість витікання?
18. Що відбувається з роботою сифона, коли рівні рідини в обох посудинах зрівнюються?
19. Як у симуляторі фіксується час витікання рідини?
20. Для чого в симуляторі використовуються режими «Measuring Top of Tube», «Measuring Water in Tank», «Measuring Inlet Location», «Measuring Outlet Location»?
21. Як правильно користуватися кнопками «Start», «Pause» і «Reset» у симуляторі?
22. Яке значення має точність відліку рівнів рідини при вимірюваннях?
23. Які фізичні параметри потрібно виміряти під час досліду для оцінки швидкості витікання?
24. Як зміна висоти коліна сифона впливає на час витікання води?
25. Як зміна рівня води в баку впливає на результати експерименту?
26. Чому під час експерименту необхідно заповнювати сифон рідиною без повітря?
27. Як густина та в'язкість рідини впливають на її рух у сифоні?
28. У яких випадках може виникнути порушення безперервності потоку в сифоні?
29. Які практичні приклади використання сифона у техніці та побуті ви знаєте?
30. Які висновки потрібно зробити після проведення лабораторної роботи?

Лабораторна робота №9

Вивчення відцентрових насосів

Мета роботи: вивчити конструкцію відцентрового насоса, призначення його основних елементів, принцип дії, основні робочі параметри та виконати перерахунок параметрів геометрично подібного насоса.

Обладнання та матеріали: схема або поздовжній розріз відцентрового насоса, паспортні або табличні дані насоса, лінійка, калькулятор, міліметровий папір або аркуш для побудови графіка, методичні вказівки.

Теоретичні відомості

Відцентрові насоси належать до динамічних лопатевих насосів. Їх робочим органом є робоче колесо, а перетворення механічної енергії привода в енергію потоку рідини відбувається внаслідок дії відцентрових сил та подальшого перетворення частини швидкісної енергії на енергію тиску в спіральному відводі.

Типовий відцентровий насос складається з корпусу у вигляді спіральної камери, робочого колеса, вала, ущільнювального вузла, підшипникових опор, всмоктувального й напірного патрубків, а також елементів з'єднання з приводним двигуном. Робоче колесо являє собою два диски, з'єднані між собою лопатями. Під час обертання колеса рідина надходить до його центральної частини, а далі переміщується до периферії та відводиться в напірний трубопровід.

Робота відцентрового насоса характеризується насамперед подачею Q , напором H , споживаною потужністю N та частотою обертання n . Під час зміни частоти обертання або геометричних розмірів робочого колеса змінюються і робочі параметри насоса, що дає можливість використовувати співвідношення гідравлічної подібності для перерахунку характеристик.

Обов'язковою умовою роботи відцентрового насоса є попереднє заповнення його корпусу та всмоктувальної лінії рідиною, яку перекачують. Якщо в насосі або у всмоктувальному трубопроводі залишається повітря, нормальне всмоктування не забезпечується.

Схема та конструкція відцентрового насоса наведена на рис. 9.1.

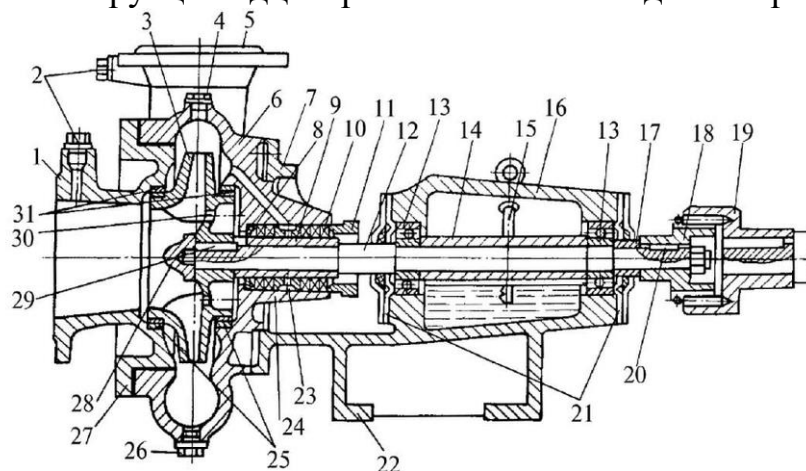


Рисунок 9.1 – Поздовжній розріз відцентрового горизонтального консольного насоса

Таблиця 9.1 – Позначення елементів насоса за рисунком 1:

№ поз.	Найменування	№ поз.	Найменування
1	усмоктувальний патрубок	16	корпус масляної ванни з підшипниками
2	отвори (заглушені пробками) для приєднання вакуумметра й манометра	17	розпірна втулка
3	робоче колесо	18, 19	напівмуфти з'єднання насоса з двигуном
4	отвір (заглушений пробкою) для підключення вакуум-насоса	20	шпонка
5	напірний патрубок	21	кришка підшипника
6	корпус (спіральный відвід)	22	станина
7	свердління (канал) для підведення води до кільця гідроуцільнення (23)	23	кільце гідроуцільнення
8	грундбукса	24	корпус сальника
9	захисна втулка	25	захисні кільця
10	набивка сальника	26	отвір (заглушений пробкою) для спорожнення насоса від води
11	кришка сальника	27	передня кришка
12	вал	28, 29	відповідно накидна гайка і шпонка кріплення робочого колеса на валу
13	шариковий підшипник	30	розвантажувальні отвори
14	розпірна втулка	31	уцільнююче кільце
15	щуп		

Для вивчення конструкції насоса доцільно окремо охарактеризувати функції основних вузлів (табл 9.2)

Таблиця 9.2 – Функції основних вузлів насоса

Основний вузол	Позначення на схемі	Функціональне призначення
Усмоктувальний патрубок	1	Підводить рідину до центральної частини робочого колеса.
Робоче колесо	3	Надає рідині кінетичну енергію та забезпечує її переміщення від центра до периферії.
Напірний патрубок	5	Відводить рідину з насоса в напірний

		трубопровід.
Корпус (спіральний відвід)	6	Спрямовує потік і перетворює частину швидкісної енергії потоку на енергію тиску.
Вал	12	Передає крутний момент від привода до робочого колеса.
Підшипниковий вузол	13, 16, 21	Забезпечує опору вала, його центрування та надійну роботу під час обертання.
Сальниковий вузол	8, 10, 11, 24	Зменшує витікання рідини в місці виходу вала з корпусу.
Напівмуфти	18, 19	З'єднують насос із валом двигуна.

Розрахункові залежності

Для геометрично подібних відцентрових насосів використовують співвідношення:

$$Q1 / Q2 = \lambda^3 \cdot (n1 / n2)$$

$$H1 / H2 = \lambda^2 \cdot (n1 / n2)^2$$

де $\lambda = R1 / R2$ – коефіцієнт геометричної подібності.

Звідси:

$$\lambda = \sqrt{[(Q1 / Q2) \cdot \sqrt{(H2 / H1)}]}$$

$$n2 = n1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{(H2 / H1)}$$

$$R2 = R1 / \lambda$$

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з метою роботи, теоретичними відомостями та рис. 9.1. Встановити, що насос належить до динамічних лопатевих насосів і працює на принципі перетворення механічної енергії обертання робочого колеса в енергію потоку рідини.

2. Розглянути поздовжній розріз насоса на рис. 9.1 та послідовно знайти на схемі всі пронумеровані позиції. Особливу увагу звернути на усмоктувальний патрубок, робоче колесо, спіральний відвід, вал, сальниковий вузол, підшипники та напівмуфти.

3. Встановити шлях руху рідини через насос: від усмоктувального патрубку через центральну частину робочого колеса до міжлопатевих каналів, далі в спіральний відвід і напірний патрубок. Коротко пояснити, чому на вході в насос створюється розрідження, а на виході – підвищений тиск.

4. За даними рис. 9.1 та табл. 9.1» вивчити конструкцію насоса. Для кожного з основних вузлів з таблиці 1 записати його функціональне призначення.

5. Визначити, які елементи утворюють проточну частину насоса, які належать до вузла ущільнення, а які забезпечують опору та передавання крутного моменту від двигуна до робочого колеса.

6. Звернути увагу на наявність отворів для приєднання приладів контролю, розвантажувальних отворів у робочому колесі, сальникового

ущільнення, кільця гідроущільнення та підшипникової опори. Пояснити, для чого вони передбачені в конструкції.

7. Записати короткий опис принципу дії відцентрового насоса. У поясненні обов'язково вказати роль робочого колеса, спірального відводу та необхідність попереднього заповнення насоса рідиною перед пуском.

8. Записати вихідні параметри: R_1 , H_1 , Q_1 , n_1 , H_2 та Q_2 .

9. Підставити вихідні дані у формулу для визначення коефіцієнта геометричної подібності λ та обчислити його значення. Під час розрахунку стежити за правильністю запису відношень подачі та напору.

10. За обчисленим значенням λ визначити частоту обертання n_2 геометрично подібного насоса. Пояснити, як зміна частоти обертання впливає на подачу й напір.

11. Обчислити радіус робочого колеса R_2 геометрично подібного насоса. Порівняти його з радіусом базового насоса R_1 і зробити висновок про зміну геометричних розмірів насоса.

12. Результати обчислень занести до табл. 9.3. За потреби перевірити правильність розрахунків повторним обчисленням або оберненим підставленням у вихідні співвідношення.

13. Сформулювати висновок, у якому відобразити: які основні вузли має відцентровий насос; у чому полягає його принцип дії; які параметри визначалися під час розрахункової частини; як змінилися частота обертання й радіус робочого колеса в геометрично подібному насосі.

Таблиця 9.3 – Результати розрахунку параметрів геометрично подібного насоса

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Радіус робочого колеса базового насоса	R_1	м	
Напір базового насоса	H_1	м	
Подача базового насоса	Q_1	л/с	
Частота обертання базового насоса	n_1	хв^{-1}	
Напір подібного насоса	H_2	м	
Подача подібного насоса	Q_2	л/с	
Коефіцієнт геометричної подібності	λ	-	
Частота обертання подібного насоса	n_2	хв^{-1}	
Радіус робочого колеса подібного насоса	R_2	м	

Контрольні питання

1. До якого класу гідромашин належать відцентрові насоси?
2. Які основні конструктивні елементи має відцентровий насос?
3. Яке призначення робочого колеса?
4. Яку функцію виконує спіральний відвід?

5. Чому перед пуском відцентровий насос необхідно заповнювати рідиною?
6. Які основні робочі параметри характеризують насос?
7. Що називають коефіцієнтом геометричної подібності насоса?
8. Як за відомими параметрами базового насоса визначити частоту обертання подібного насоса?
9. Як за коефіцієнтом подібності визначається радіус робочого колеса?
10. Які елементи конструкції забезпечують ущільнення та опору вала?

Лабораторна робота №10

Вивчення шестеренних насосів

Мета: Вивчити конструкцію та принцип дії шестеренного насоса, ознайомитись з його основними параметрами, вивчити правила експлуатації і обслуговування

Теоретичні відомості

Шестеренні (шестерінчасті) гідромашини є одними з найпоширеніших одноступеневих об'ємних агрегатів. Вони широко застосовуються в гідросистемах керування різноманітних машин і механізмів, а також у системах мащення.

Для таких гідромашин характерна практично відсутня дія інерційних сил, що дає змогу працювати на високих частотах обертання ($n = 2500 \dots 4000 \text{ хв}^{-1}$). Вони відзначаються малою металомісткістю (приблизно $1,1 \dots 1,8 \text{ кг/кВт}$ встановленої потужності), здатні створювати високий тиск (переважно до 10 МПа , іноді $10 \dots 20 \text{ МПа}$). Об'ємний коефіцієнт корисної дії становить $\eta_o = 0,87 \dots 0,9$. Шестеренні гідромашини можуть працювати з робочими рідинами в широкому діапазоні кінематичної в'язкості ($\gamma = 10 \dots 80 \text{ сСт}$), що робить їх універсальними для різних умов експлуатації.

Основний тип шестеренних насосів – це насоси з двома прямозубими шестернями зовнішнього зачеплення (рис. 10.1, а). Окрім них, застосовують конструкції з внутрішнім зачепленням (рис. 10.1, б), а також тришестеренні та багатшестеренні насоси (рис. 10.1, в).

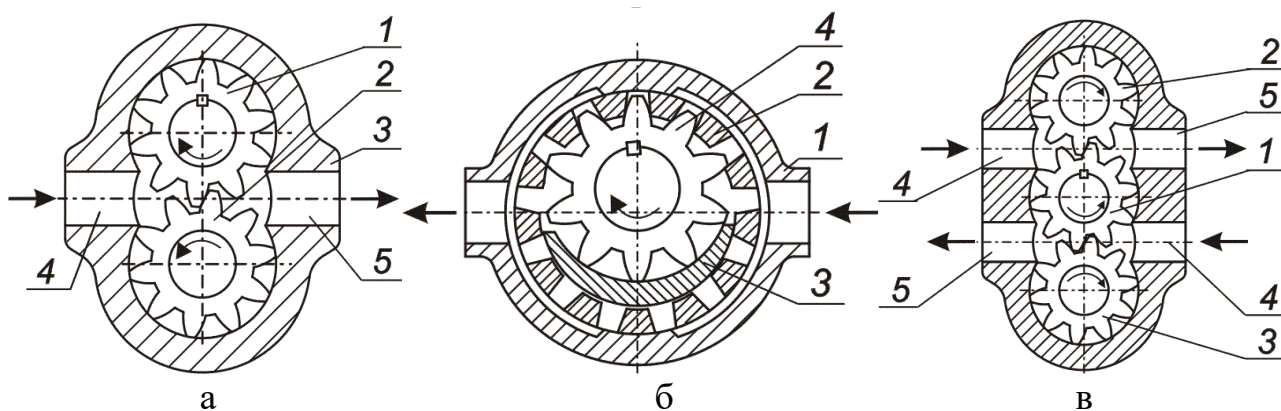


Рисунок 10.1 – Схеми шестерінчастих насосів: а – з зовнішнім зачепленням, б – з внутрішнім зачепленням, в – тришестерінчастий

Шестеренний насос із зовнішнім зачепленням (рис. 9.1, а) складається з ведучої 1 та веденої 2 шестерень, установлених у корпусі 3 з невеликими радіальними та торцевими зазорами. Під час обертання шестерень рідина заповнює міжзубові порожнини на стороні всмоктування 4, переноситься разом із обертовими зубцями по внутрішній поверхні корпуса і подається в порожнину нагнітання 5. Із порожнини нагнітання рідина надходить у напірний трубопровід. Робочий процес відбувається завдяки безперервному заповненню і витісненню рідини з міжзубових камер.

Шестеренні насоси з внутрішнім зачепленням конструктивно складніші, проте забезпечують більш рівномірну подачу та мають менші габарити порівняно з насосами із зовнішнім зачепленням. У такому насосі внутрішня шестерня 2 (рис. 9.1, б) має на два–три зуби менше, ніж зовнішня шестерня 4. Між ними розташована серпоподібна перемичка 3, яка відділяє зону всмоктування від напірної порожнини.

При обертанні внутрішньої шестерні робоча рідина послідовно заповнює міжзубові порожнини, переноситься в зону нагнітання та витісняється через вікна в кришках корпуса 1 у напірний трубопровід. Завдяки більш сприятливій схемі зачеплення та меншій пульсації подачі такі насоси вирізняються плавнішою роботою.

На рисунку 9.1, в подано схему тришестереного насоса. У цій конструкції шестерня 1 є ведучою, а шестерні 2 і 3 – веденими. Порожнини 4 виконують роль зон всмоктування, а порожнини 5 – зон нагнітання. Подібні насоси доцільно застосовувати в гідроприводах, де необхідно мати дві незалежні гідролінії (наприклад, для живлення двох окремих споживачів при спільному приводі).

Об'ємний ККД шестеренних насосів значною мірою визначається величиною внутрішніх протікань робочої рідини через зазори між головками зубів і корпусом насоса, а також через торцеві зазори між шестернями та боковими стінками корпуса. Додаткові втрати виникають уздовж лінії контакту зубців у зоні зачеплення.

Для зменшення протікань прагнуть максимально зменшити радіальні та торцеві зазори, забезпечуючи при цьому допустимі умови мащення і відсутність заклинювання. Висока точність виготовлення зубчастих коліс дає змогу практично ліквідувати протікання по лінії їх контакту, що істотно підвищує об'ємний ККД насоса.

Насоси з внутрішнім зачепленням застосовують дещо рідше, ніж із зовнішнім. Попри їх компактність та хорошу рівномірність подачі, вони мають складнішу конструкцію і вищу собівартість виготовлення.

За кількістю пар шестерень шестеренні насоси поділяють на односекційні (з однією парою шестерень) та багатосекційні (з двома і більше парами шестерень). У багатосекційних насосах можна реалізувати кілька незалежних або суміжних гідроліній, поєднувати подачі тощо.

Конструкція типового односекційного насоса показана на рис. 10.2. Ведуча 8 та ведена 9 шестерні виготовлені разом із валами й установлені в

алюмінієвому корпусі 7, який закривається кришкою 5, закріпленою болтами 10.

Роль опорних підшипників ковзання для валів виконують плаваючі втулки 6. Вони одночасно слугують упорними підшипниками для торців шестерень 8 і 9. Взаємне положення втулок фіксується лисками та дротом. Плаваючі втулки автоматично притискаються до торців шестерень завдяки подачі робочої рідини під тиском під торці втулок. Така самокомпенсація зношування забезпечує високий об'ємний ККД насоса і збільшує строк його служби.

Щоб запобігти перекосу втулок через нерівномірне навантаження зі сторони всмоктувальної порожнини, застосовують розвантажувальну пластину 11, обтиснуту гумовим кільцем. Рідина, що просочується вздовж валів шестерень, через отвір 3 у кришці та отвір у шестерні 9 повертається в порожнини, сполучені з камерою всмоктування. Гумові кільця 1 і 2 та манжетне ущільнення 4 запобігають витіканню рідини з корпусу насоса. Манжета закріплена в кришці опорним 12 і розрізним пружинним 13 кільцями.

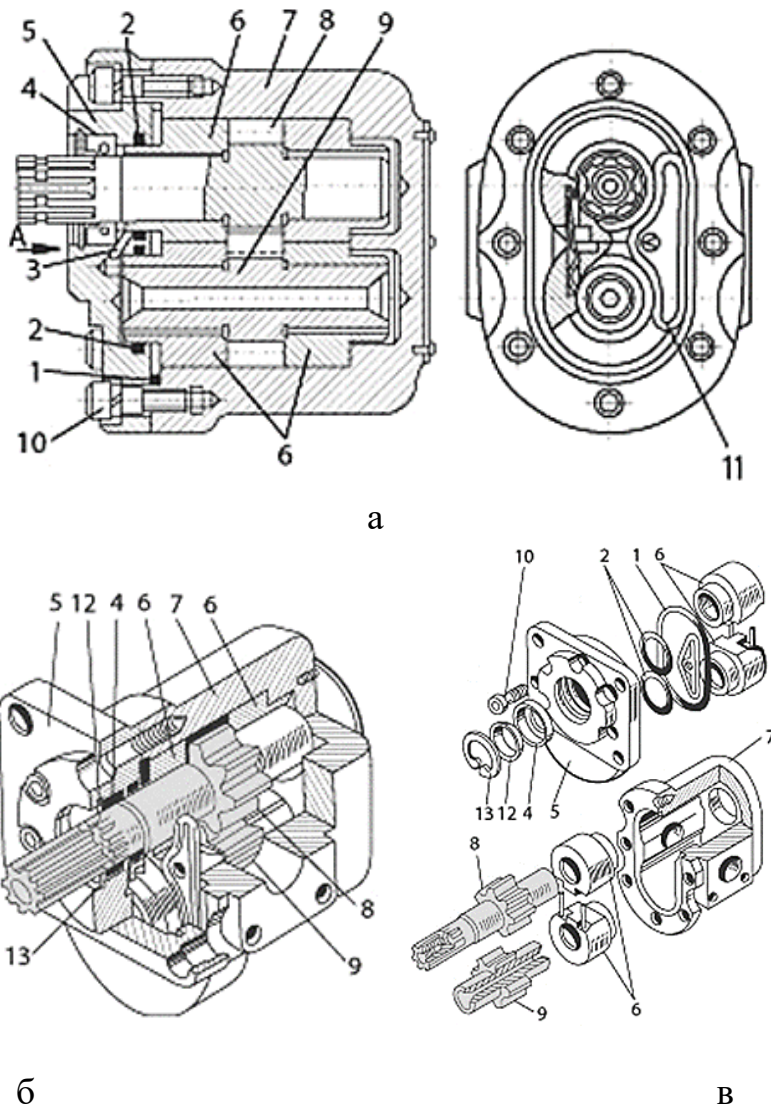


Рисунок 10.2 – Односекційний шестеренний насос: а і б – насос у розрізі, в – основні деталі насоса; 1, 2 – кільця; 3 – отвір; 4 – ущільнення; 5 – кришка; 6 – втулки; 7 – корпус насоса; 8, 9 – шестерні; 10 – болти; 11 – пластину; 12 – кільця.

На хвостовику вала шестерні 8 виконано шліци для з'єднання насоса з приводним двигуном через муфту. До бічних площин корпусу болтами кріплять патрубки, які з'єднують порожнини всмоктування та нагнітання з відповідними трубопроводами. Насоси виготовляють у виконанні як правого, так і лівого напрямку обертання; на корпусі зазвичай наносять маркування «Правий» або «Лівий». Для зміни напрямку обертання насоса міняють місцями ведучу і ведену шестерні, повертають кришку на 180° та встановлюють втулки так, щоб лінія їхнього контакту по стикових площинах змінила положення відносно всмоктувальної та нагнітальної зон.

Схему шестеренного гідромотора подано на рис. 10.3. Корпус 1 гідромотора зверху закрито кришкою 3, через порожнини А і Б якої підводять робочу рідину, а через дренажну порожнину В відводять протікання.

Робоча частина гідромотора складається з трьох ведучих шестерень 8 (на розрізі показана одна), що вільно обертаються на осях 7, і веденої шестерні 6, яка виготовлена заодно з вихідним валом. За допомогою розподільної шайби 2 здійснюють розподіл потоку рідини, що надходить через порожнини А і Б, між зонами високого та низького тиску. Нижня кришка 5 виконує одночасно функцію фланця для кріплення гідродвигуна до рами машини. Усі деталі стягнуті по периметру болтами 9, площину роз'єму ущільнено п'ятьма гумовими кільцями 4.

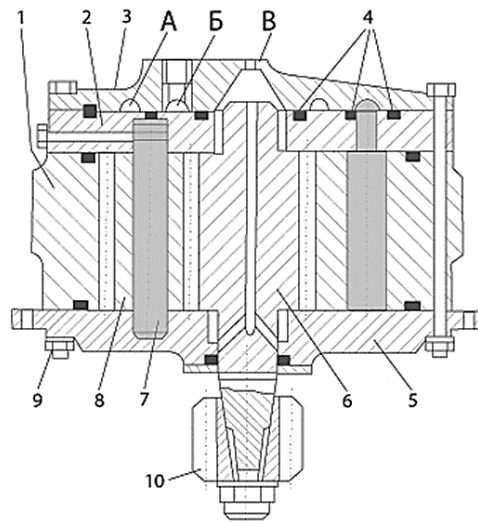


Рисунок 10.3. Шестеренчастий гідромотор

На консольній частині веденої шестерні закріплена шестерня 10, яка безпосередньо входить у зачеплення із зубчастим колесом приводного механізму. Завдяки великому крутному моменту та можливості передавати його без додаткових редукторів такий гідродвигун класифікують як високомоментний і застосовують для безредукторного приводу робочих органів.

Шестеренні насоси й гідродвигуни мають низку важливих переваг: вони прості за конструкцією, компактні, допускають роботу на високих частотах обертання, добре пристосовані до серійного та масового виробництва.

Разом із тим повний ККД більшості шестеренних насосів у робочій зоні зазвичай не перевищує 0,6...0,75. Крім того, ресурс роботи при високих тисках

у них, як правило, обмежений, оскільки збільшення тиску супроводжується зростанням навантажень на підшипники, зубчасті пари та ущільнювальні елементи.

Порядок виконання роботи

1. На основі теоретичного матеріалу та рис. 10.1–10.3 систематизувати інформацію у вигляді таблиці 9.1. Класифікація шестеренних насосів.
2. На основі рис. 10.1 накреслити спрощені принципові схеми шестеренних насосів (вид у розрізі). Під рисунками дати короткий текстовий опис (3–6 речень) роботи насоса за кожною схемою.
3. Ознайомтеся с конструкцією шестеренного насоса шляхом розбирання і збирання насоса. Після розбирання необхідно провести замір наступних величин: d_e – діаметр виступів шестерні, мм; z – число зубів шестерні, шт; b – ширина шестерні, мм.

Таблиця 10.1 - Класифікація шестеренних насосів

Тип насоса	Зовнішн ього зачеплення	Внутрішн ього зачеплення	Тришес те-ренний	Багат осек- ційний
Схема зачеплення (зовнішнє / внутрішнє, кількість шестерень)				
Область застосування				
Характерні параметри (тиск, частота обертання, діапазон в'язкості, об'ємний ККД)				
Основні переваги				
Основні недоліки				

4. Розрахувати параметри насоса:

- a. Модуль зачеплення:

$$m = \frac{d_e}{z + 2}, \text{ мм} \quad (10.1)$$

- b. Діаметр початкового кола:

$$d = m \cdot z, \text{ мм} \quad (10.2)$$

- c. Робочий об'єм шестеренного насоса:

$$q = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot m^2 \cdot (z + 1) \cdot 10^{-3}, \text{ см}^3 \quad (10.3)$$

- d. Теоретичну подачу насоса:

$$Q_m = q \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ л/хв.}, \quad (10.4)$$

де n – частота обертання вала шестеренного насоса, об/хв.

- e. Дійсну подачу насоса:

$$Q_n = Q_m \cdot \eta_o, \text{ л/хв.}, \quad (10.5)$$

де η_o – об’ємний КПД насоса ($\eta_o \approx 0,9$).

f. Розрахунковий момент на шестерні:

$$M_m = \Delta p \cdot b \cdot m^2 \cdot (z+1) \cdot 10^{-9}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (10.6)$$

де Δp – перепад тиску, що створюється насосом при заданому режимі роботи, Па.

g. Момент на валу насоса:

$$M_{np} = \frac{M_m}{\eta_{zm}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (10.7)$$

де η_{zm} – гідромеханічний ККД насоса ($\eta_{zm} \approx 0,85$).

h. Корисну потужність насоса:

$$N = \Delta p \cdot Q_n \cdot \frac{1}{60 \cdot 1000}, \text{ Вт} \quad (10.8)$$

i. Потужність на валу насоса:

$$N_{np} = \frac{N}{\eta_n}, \text{ Вт} \quad (10.9)$$

де $\eta_n = \eta_o \cdot \eta_{zm}$ – загальний ККД насоса.

Величини n та Δp для свого варіанту слід брати з таблиці 10.2. Номер варіанту вибирається згідно другої цифри порядкового номеру в журналі академгрупи.

Таблиця 10.2 – Вихідні дані до розрахунку

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n , об/хв	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450
Δp , МПа	3,2	4,1	5,3	6,5	7,4	8,1	9,2	10,0	11,3	14,4

5. Зробіть висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Яке призначення шестеренного насоса в гідравлічній системі?
2. До якого типу гідравлічних машин належить шестеренний насос?
3. Які переваги мають шестеренні насоси порівняно з іншими об’ємними насосами?
4. Які основні області застосування шестеренних насосів?
5. Які типи шестеренних насосів розрізняють за схемою зачеплення шестерень?

6. У чому полягає принцип роботи шестеренного насоса із зовнішнім зачепленням?
7. З яких основних частин складається насос із зовнішнім зачепленням?
8. Як здійснюється процес всмоктування та нагнітання рідини у насосі з зовнішнім зачепленням?
9. Яка роль корпусу насоса і чому важливі мінімальні радіальні та торцеві зазори?

Лабораторна робота 11

Вивчення аксіально-поршневих насосів

Мета роботи: вивчити конструкцію, принцип дії, основні елементи, приєднувальні отвори та основні параметри регульованого аксіально-поршневого насоса Hydrosila PVC28; навчитися ідентифікувати елементи насоса за складальною схемою та визначати його теоретичну подачу і теоретичну гідравлічну потужність.

Обладнання та матеріали: натурний зразок насоса Hydrosila PVC28, фото насоса, каталогова схема елементів насоса PVC, схема приєднувальних отворів і габаритних розмірів насоса PVC28, лінійка, калькулятор.



Рисунок 11.1 – Натурний зразок регульованого аксіально-поршневого насоса Hydrosila PVC28

Теоретичні відомості

Аксіально-поршневі насоси належать до об'ємних гідромашин. У таких насосах робочі камери утворюються циліндрами блока та плунжерами, осі яких розміщені паралельно осі приводного вала. Під час обертання блока циліндрів і взаємодії плунжерів із похилою шайбою кожен плунжер здійснює зворотно-поступальний рух, унаслідок чого об'єм робочих камер періодично збільшується і зменшується.

При збільшенні об'єму робочої камери рідина всмоктується через всмоктувальний канал, а при зменшенні – витискається в напірний канал. Розподіл потоків у насосі забезпечується розподільником. Зміна кута нахилу люльки або похилої шайби змінює хід плунжерів і, відповідно, робочий об'єм насоса та його подачу.

Насос Hydrosila PVC28 є регульованим аксіально-поршневим насосом серії С. За каталогом серії PVC робочий об'єм моделі PVC28 становить 28 см³, номінальний тиск – 280 бар, максимальний – 350 бар, а максимальна частота обертання – до 3000 хв⁻¹. Насоси цієї серії призначені для відкритих гідросистем мобільних і стаціонарних машин.

Таблиця 11.1 – Основні дані насоса, що вивчається

Параметр	Значення
Виробник	Hydrosila
Тип гідромашини	Регульований аксіально-поршневий насос
Модель	PVC28
Конструктивна схема	Насос із блоком циліндрів та похилою шайбою
Робочий об'єм	28 см ³ /об
Номінальний тиск	280 бар
Максимальний тиск	350 бар
Максимальна частота обертання	до 3000 хв ⁻¹
Основні приєднувальні отвори	S – всмоктування; P – напір; L, L1 – дренаж; X – керувальна гідролінія

Схема елементів насоса PVC (рис. 11.2)

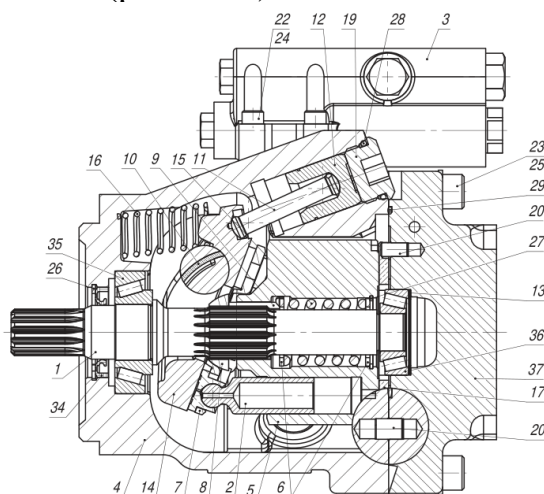


Рисунок 11.2 – Офіційна схема елементів аксіально-поршневого насоса серії PVC з позиціями

Розшифрування позицій на схемі наведено в табл. 11.2
Таблиця 11.2.

Поз.	Найменування	Функціональне призначення
1	Вал	Передає крутний момент від привода до блока циліндрів.
2	Плунжер з п'ятою	Утворює робочу камеру, здійснює зворотно-поступальний рух і витісняє робочу рідину.
3	Регулятор керування	Змінює режим роботи насоса та кут нахилу похилої шайби, забезпечуючи регулювання подачі.
4	Корпус	Об'єднує всі вузли насоса в єдину конструкцію та сприймає навантаження.
5	Блок циліндрів	Містить циліндри плунжерів і обертається разом із валом.
6	Шайба	Служить опорним та проміжним елементом вузла.
7	Сепаратор	Фіксує взаємне положення окремих елементів у вузлі.
8	Сферична втулка	Забезпечує шарнірне сполучення та компенсацію перекосів у плунжерному механізмі.
9	Штифт	Фіксує окремі деталі у заданому положенні.
10	Підшипник	Забезпечує опору та обертання деталей із мінімальним тертям.
11	Шток керування	Передає зусилля від регулятора до механізму зміни подачі.
12	Поршень керування	Сприймає керувальний тиск і переміщує елементи регулювання.
13	Регульовальне кільце	Бере участь у налаштуванні положення механізму регулювання.
14	Люлька (похила шайба)	Задає хід плунжерів; зміна її кута змінює робочий об'єм і подачу насоса.
15	Пружина	Створює зусилля повернення або підтиску в механізмі керування.
16	Пружина люльки	Працює в механізмі встановлення і повернення люльки.
17	Розподільник	Забезпечує почергове сполучення робочих камер із всмоктувальною та напірною порожнинами.
18	Пробка дренажу	Служить для зливу робочої рідини з корпусу або дренажної порожнини.
19	Пробка керування	Закриває або обслуговує канал системи керування.
20, 21	Штифти	Фіксують взаємне положення деталей корпусу та кришок.
22, 23	Гвинти	Кріпильні елементи вузлів насоса.

24, 25	Шайби	Сприймають осьові зусилля та підвищують надійність кріплення.
26, 27	Стопорні кільця	Запобігають осьовому зміщенню деталей.
28– 33	Ущільнювальні кільця	Забезпечують герметичність стиків і порожнин насоса.
34	Манжета	Ущільнює вал або рухома деталь, запобігаючи витіканню рідини.
35	Передній підшипник	Сприймає навантаження з боку привідного кінця вала.
36	Задній підшипник	Сприймає навантаження з тильного боку вала.
37	Задня кришка	Закриває корпус з тильного боку та забезпечує монтаж задніх вузлів.

Приєднувальні отвори та габаритні розміри насоса PVC28

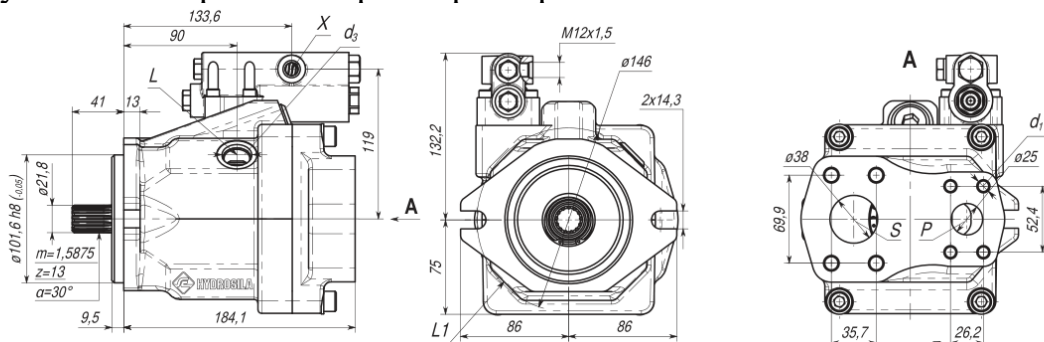


Рисунок 11.3 – Приєднувальні отвори, вал і основні габаритні розміри насосів PVC28, PVC38 (OP)

Таблиця 11.3 – Позначення приєднувальних отворів

Позначення	Назва	Призначення
S	Всмоктувальний отвір	Призначений для підведення робочої рідини з бака до насоса.
P	Напірний отвір	Призначений для подачі робочої рідини під тиском у гідросистему.
L, L1	Дренажні отвори	Призначені для відведення витоків і дренажної рідини з корпусу насоса.
X	Керувальна гідролінія	Використовується в системі керування регулятором насоса.

Основні розрахункові залежності

Теоретична подача насоса визначається за формулою

$$Q_t = V_0 \cdot n / 1000,$$

де Q_t – теоретична подача, л/хв; V_0 – робочий об'єм насоса, см³/об; n – частота обертання вала, хв⁻¹.

Для насоса PVC28 $V_0 = 28$ см³/об.

Теоретичну гідравлічну потужність насоса можна визначити за формулою

$$N_t = p \cdot Q_t / 60,$$

де N_t – теоретична потужність, кВт; p – тиск, МПа; Q_t – подача, л/хв.

Фактична подача та фактична потужність насоса будуть відрізнятися від теоретичних унаслідок об'ємних, механічних та гідравлічних втрат.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з натурним зразком насоса Hydrosila PVC28 і зовнішньо визначити його основні вузли: корпус, привідний вал, регулятор керування, місця під'єднання гідроліній, кріпильні елементи.

2. Розглянути шильдик насоса і записати в зошит: виробника, тип гідромашини, модель, серійний номер, а також стрілку, що вказує напрямок обертання вала.

3. Порівняти натурний зразок із рисунком 2 і встановити, де на реальному насосі розміщені: вал, корпус, регулятор керування, блок циліндрів, люлька, підшипникові вузли, задня кришка.

4. За рис. 11.2 послідовно знайти на схемі позиції 1-37. Для кожної позиції усно або письмово пояснити її призначення. Особливу увагу звернути на позиції 1, 2, 3, 5, 11, 12, 14, 17, 35, 36, 37, оскільки вони визначають роботу насоса.

5. За рисунком 3 встановити місця приєднання основних гідроліній і записати їх призначення: S – всмоктувальна лінія, P – напірна лінія, L та L1 – дренаж, X – керувальна гідролінія.

6. Визначити тип кінця вала за рис. 11.3 і порівняти його з натурним зразком. Звернути увагу на шліцьове виконання вала та елементи монтажного фланця.

7. Описати принцип дії насоса. У поясненні обов'язково зазначити: обертання вала, обертання блока циліндрів, рух плунжерів відносно похилої шайби, процес всмоктування, процес нагнітання, роль розподільника та регулятора подачі.

8. З'ясувати, яким чином регулятор змінює подачу насоса. Пояснити, чому при зміні кута нахилу люльки змінюється хід плунжерів і, відповідно, робочий об'єм насоса.

9. Обчислити теоретичну подачу насоса PVC28 для частот обертання 500, 1000, 1500, 2000, 2500 та 3000 хв⁻¹. Результати занести до таблиці 1.

10. Для кожного з отриманих значень подачі обчислити теоретичну гідравлічну потужність насоса при номінальному тиску 28 МПа. За бажанням викладача додатково виконати розрахунок для максимального тиску 35 МПа. Результати занести до таблиці 1.

11. На основі отриманих розрахунків зробити висновок, як змінюються подача і потужність насоса зі збільшенням частоти обертання. Пояснити, чому реальні значення у практиці будуть меншими за теоретичні.

12. Підготувати письмовий висновок, у якому коротко охарактеризувати конструкцію насоса PVC28, призначення його основних елементів, призначення приєднувальних отворів та результати розрахунків.

Таблиця 11.4 – Розрахунок теоретичної подачі та теоретичної потужності насоса PVC28

$n, \text{хв}^{-1}$	$V_0, \text{см}^3/\text{об}$	$Q_t, \text{л/хв}$	$N_t \text{ при } p = 28 \text{ МПа, кВт}$
500	28		
1000	28		
1500	28		
2000	28		
2500	28		
3000	28		

Контрольні питання

1. До якого класу гідромашин належать аксіально-поршневі насоси?
2. Які основні вузли має насос Hydrosila PVC28?
3. Яку функцію виконує блок циліндрів?
4. Яку роль у насосі відіграє похила шайба (люлька)?
5. Для чого призначений регулятор керування?
6. Яким чином відбуваються процеси всмоктування і нагнітання в аксіально-поршковому насосі?
7. Яке призначення приєднувальних отворів S, P, L, L1 та X?
8. Що таке робочий об'єм насоса і як він впливає на подачу?
9. Чим відрізняється теоретична подача від фактичної?
10. Чому потужність, необхідна для приводу насоса, зростає зі збільшенням тиску та подачі?

Лабораторна робота 12

Вивчення вакуумних насосів Рутса

Мета роботи: вивчити конструкцію, принцип дії, основні елементи та особливості експлуатації вакуумного насоса Рутса; навчитися розпізнавати його конструктивні вузли за схемою та пояснювати рух газу всередині насоса.

Обладнання та матеріали: схема насоса Рутса, конструктивний рисунок насоса з позиціями, навчальний зразок або плакат, робочий зошит, лінійка, довідкові матеріали.

Теоретичні відомості

Вакуумний насос Рутса належить до ротаційних об'ємних вакуумних насосів. Його робочими органами є два однакові ротори з лемніскатним профілем, які обертаються у протилежних напрямках і переносять порції газу із зони всмоктування в зону нагнітання. Безконтактна робота роторів забезпечується точно витриманими зазорами та синхронізацією обертання через зубчасту передачу.

Насоси Рутса відзначаються великою швидкістю відкачування в області середнього і низького вакууму. За один оберт кожен ротор двічі переносить певний об'єм газу з області більшого розрідження в область попереднього

розрідження. Через це двороторні насоси при подібних габаритах мають значно більшу швидкодію, ніж багато інших ротаційних вакуумних насосів.

Важливою особливістю насоса Рутса є те, що він зазвичай не працює самостійно, а використовується разом із форвакуумним насосом. Така схема потрібна для того, щоб на виході з бустерного насоса не виникала надмірна різниця тисків під час пуску та роботи. У промислових конструкціях часто застосовують перепускний клапан, який захищає насос від перевантаження.

До основних переваг насосів Рутса належать висока швидкість відкачування, відсутність контакту між роторами, відносно мала вібрація та довговічність робочих органів. До обмежень слід віднести потребу у форвакуумному насосі, чутливість до перевищення допустимої різниці тисків та високі вимоги до точності виготовлення вузлів синхронізації.

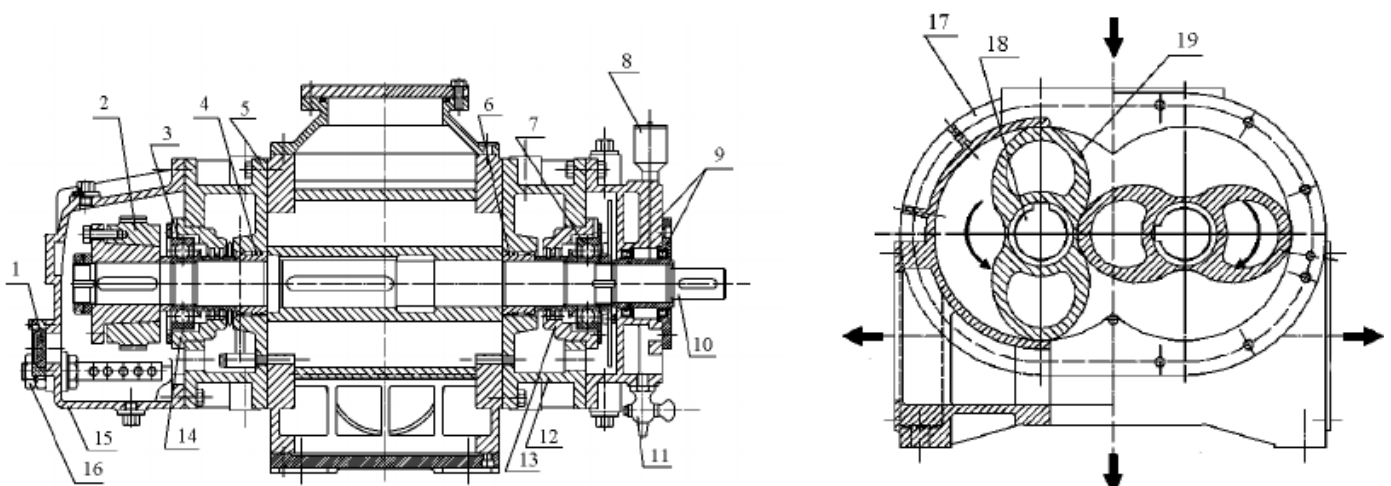


Рисунок 12.1 – Конструктивна схема вакуумного насоса Рутса з позиційними позначеннями

Принцип дії насоса Рутса

1. Під час обертання роторів у зоні всмоктування між поверхнею ротора, корпусом і торцевою кришкою утворюються замкнені порожнини, у які надходить газ.

2. Далі ротор переносить захоплену порцію газу вздовж внутрішньої поверхні корпусу до нагнітальної зони.

3. Оскільки ротори синхронізовані зубчастою передачею, вони не торкаються один одного. Це дозволяє працювати без безпосереднього тертя між роторами і зменшує зношування.

4. Коли замкнений об'єм досягає зони виходу, газ переходить у напірну порожнину, де тиск вищий. Таким чином забезпечується безперервне відкачування.

5. Насос Рутса не створює високого кінцевого вакууму самостійно, тому для його нормальної роботи потрібен форвакуумний насос, який відводить газ із нагнітальної сторони.

Таблиця 12.1 – Позначення основних елементів насоса

Поз.	Елемент	Призначення
1	Оглядове вікно	Слугує для контролю рівня або стану мастила та візуального огляду внутрішньої порожнини вузла.
2	Шестерня	Синхронізує обертання роторів і не допускає їх взаємного дотику.
3, 7	Підшипник	Сприймає радіальні та осьові навантаження, забезпечує стійке обертання валів.
4, 6	Поршневе кільце	Виконує ущільнювальну функцію в окремих вузлах насоса.
5, 12	Торцева кришка	Закриває торцеві частини корпусу та забезпечує монтаж підшипників і ущільнень.
8	Маслоуловлювач	Затримує бризки мастила і зменшує його винесення з робочої зони.
9	Ущільнення вала	Запобігає підсмоктуванню повітря та витіканню мастила уздовж вала.
10, 18	Приводний вал	Передає крутний момент від електродвигуна до ротора і зубчастої передачі.
11	Зливний отвір	Призначений для зливу мастила під час технічного обслуговування.
13, 14	Корпус підшипника	Утримує підшипники, забезпечує їх правильне взаємне розташування.
15	Кришка шестерні	Закриває зубчасту передачу та захищає її від забруднення.
16	Охолоджувальна трубка	Сприяє відведенню теплоти і стабілізації температурного режиму насоса.
17	Корпус	Утворює робочу порожнину насоса, в якій переміщується газ.
19	Ротор	Основний робочий орган, що переносить порції газу від входу до виходу насоса.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями про призначення та область застосування вакуумних насосів Рутса. З'ясувати, чому ці насоси належать до ротаційних об'ємних насосів і в чому полягає їх відмінність від пластинчастих вакуумних насосів.

2. Розглянути рис. 12.1 і встановити, які елементи на ньому забезпечують переміщення газу, які - синхронізацію обертання, а які - герметичність та надійність роботи насоса.

3. Визначити на схемі корпус, ротори, приводний вал, шестерні, підшипники, ущільнення вала, торцеві кришки, маслоуловлювач і зливний отвір. Для кожного вузла коротко записати його функцію.

4. Встановити за схемою, яким способом забезпечується синхронне обертання роторів. Пояснити, чому ротори не торкаються один одного і чому для такого насоса критично важливо витримувати мінімальні, але достатні зазори.

5. Проаналізувати роль підшипників, торцевих кришок і ущільнень. Пояснити, які наслідки може мати зношування цих вузлів для герметичності насоса та його вакуумних характеристик.

6. У робочому зошиті схематично показати шлях руху газу через насос: від зони всмоктування до зони нагнітання. Пояснити, що за один оберт кожен ротор двічі переносить порцію газу до виходу.

7. З'ясувати, чому насос Рутса, як правило, працює в парі з форвакуумним насосом. У робочому зошиті побудувати спрощену структурну схему вакуумної установки: вакуумна камера - насос Рутса - форвакуумний насос - атмосфера.

8. Заповнити табл. 12.2, указавши позиційне позначення елемента, його назву та коротку характеристику функції. За потреби дозволяється доповнювати формулювання власними технічними поясненнями.

9. Заповнити табл. 12.3, у якій необхідно охарактеризувати особливості роботи насоса: тип руху робочих органів, спосіб синхронізації, наявність або відсутність контакту між роторами, потребу у форвакуумному насосі, характерні переваги та обмеження.

10. На основі рис. 12.1 і теоретичних відомостей зробити письмовий опис принципу дії насоса обсягом 8-10 речень, використовуючи технічно правильні терміни: ротор, корпус, зубчаста передача, зона всмоктування, зона нагнітання, форвакуумний насос.

11. Відповісти на контрольні питання та сформулювати висновки, в яких окремо відобразити: які елементи забезпечують переміщення газу, які - синхронізацію й герметичність, та чому насос Рутса має високу швидкість відкачування, але не використовується самостійно для створення глибокого вакууму.

Таблиця 12.2 – Результати вивчення конструкції насоса

№	Поз.	Елемент	Коротка характеристика функції
1	1	Оглядове вікно	
2	2	Шестерня	
3	3, 7	Підшипник	
4	4, 6	Поршневе кільце	
5	5, 12	Торцева кришка	
6	8	Маслоуловлювач	

№	Поз.	Елемент	Коротка характеристика функції
7	9	Ущільнення вала	
8	10, 18	Приводний вал	
9	11	Зливний отвір	
10	13, 14	Корпус підшипника	
11	15	Кришка шестерні	
12	16	Охолоджувальна трубка	
13	17	Корпус	
14	19	Ротор	

Таблиця 12.3 – Характеристика роботи насоса Рутса

Ознака	Характеристика	Примітка студента
Тип насоса	Ротаційний об'ємний вакуумний насос	
Робочі органи	Два ротори лемнікатного профілю	
Синхронізація обертання	Зубчаста передача	
Контакт між роторами	Відсутній	
Наявність форвакуумного насоса	Потрібний	
Основна перевага	Висока швидкість відкачування	
Основне обмеження	Не допускає великої різниці тисків без захисту	

Контрольні питання

1. До якого типу вакуумних насосів належить насос Рутса?
2. Які робочі органи має насос Рутса?
3. Яке призначення зубчастої передачі в насосі Рутса?
4. Чому ротори не повинні торкатися один одного?
5. Яку функцію виконує ущільнення вала?
6. Яке призначення підшипників у насосі?
7. Чому насос Рутса не рекомендується використовувати самостійно?
8. Що таке форвакуумний насос і яку роль він відіграє в установці?
9. Які переваги мають насоси Рутса порівняно з іншими ротаційними вакуумними насосами?
10. Які конструктивні елементи насоса забезпечують його герметичність і надійність роботи?

Під час підведення робочої рідини до поршневої порожнини шток висувається, а рідина зі штокової порожнини витісняється в зливну лінію. Під час подачі рідини в штокову порожнину шток втягується, а рідина з поршневої порожнини відводиться у злив. Через різницю ефективних площ швидкість і теоретичне зусилля в прямому та зворотному ходах різні.

Конструктивно гідроциліндр складається з гільзи, поршня, штока, передньої та задньої головок, ущільнень, напрямних елементів, штуцерних отворів для підведення рідини та елементів кріплення. На поданому натурному зразку застосовано кріплення типу «вушко-вушко» з шарнірними опорами, що зменшує згинальні напруження в штоку під час роботи.

Таблиця 13.1 –Розшифрування позицій

Поз.	Найменування	Функція елемента
1	Вушко	Служить для шарнірного кріплення гідроциліндра до механізму.
2	Втулка	Забезпечує правильну посадку та роботу шарнірного з'єднання.
3	Контргайка	Фіксує положення штока та елементів його кріплення.
4	Шток	Передає зусилля від поршня до зовнішнього виконавчого органа.
5	Манжета	Захищає від потрапляння пилу та бруду, бере участь в ущільненні.
6, 14	Головки	Закривають гільзу, утворюють опорні й напрямні поверхні.
7, 8, 11, 12	Ущільнювальні кільця	Забезпечують герметичність рухомих і нерухомих з'єднань.
9	Корпус (гільза)	Утворює робочу камеру гідроциліндра.
10	Поршень	Розділяє робочі порожнини та сприймає тиск рідини.
13	Корончаста гайка	Кріпить поршень на штоку або фіксує вузол штока.
15	Штуцери (підвідні отвори)	Через них робоча рідина надходить у порожнини гідроциліндра.
16	Наконечник	Елемент кінцевого приєднання штока.
17	Денце гідроциліндра	Замикає корпус з одного боку та сприймає навантаження.



Рисунок 13.2 – Натурний зразок гідроциліндра Hydrosila MC80/50x400-3.11(765), використаний у лабораторній роботі

Таблиця 13.2 – Технічні дані досліджуваного зразка

Параметр	Позначення	Значення
Діаметр поршня	D	80 мм
Діаметр штока	d	50 мм
Хід штока	S	400 мм
Міжцентрова відстань у складеному стані	L	765 мм
Тип дії	—	двобічна
Тип штока	—	одноштоковий
Тип кріплення	—	вушко на корпусі / вушко на штоку
Номінальний тиск за маркуванням	p	160 bar (16 МПа)
Серія виробу	—	MC (Hydrosila)

Розрахункові залежності

Площа поршневої порожнини: $A_1 = \pi D^2 / 4$

Ефективна площа штокової порожнини: $A_2 = \pi(D^2 - d^2) / 4$

Теоретичний об'єм рідини для висування штока: $V_1 = A_1 \cdot S$

Теоретичний об'єм рідини для втягування штока: $V_2 = A_2 \cdot S$

Теоретичне зусилля під час висування: $F_1 = p \cdot A_1$

Теоретичне зусилля під час втягування: $F_2 = p \cdot A_2$

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з призначенням гідроциліндрів у гідроприводах машин, повторити класифікацію за типом дії, конструкцією робочої камери, числом штоків і способом кріплення.

2. Розглянути натурний зразок Hydrosila MC80/50x400-3.11(765) та встановити його загальний тип: поршневий, двобічної дії, одноштоковий, зварної конструкції, з шарнірним кріпленням через вушка.

3. Знайти на корпусі маркування гідроциліндра і занести в робочий зошит модель, діаметр поршня, діаметр штока, хід, міжцентрову відстань та значення тиску, зазначене на етикетці.

4. Визначити за зовнішнім оглядом основні вузли натурального зразка: корпус (гільзу), шток, головки, вушка кріплення, підвідні отвори для робочої рідини, різьбові місця приєднання та захисні елементи.

5. Накреслити в зошиті спрощену схему гідроциліндра двобічної дії або перемалювати готову схему з рисунка 1. Біля схеми підписати основні деталі та показати поршневу і штокову порожнини.

6. За рисунком 13.1 і таблицею розшифрування позицій встановити призначення кожного елемента конструкції. Особливу увагу звернути на поршень, шток, ущільнювальні кільця, манжету та штуцери.

7. Виконати вимірювання або звірку геометричних параметрів з маркуванням виробу: діаметр поршня D , діаметр штока d , хід штока S . За потреби додатково виміряти орієнтовну довжину корпусу і діаметр штока штангенциркулем.

8. Розрахувати площу поршневої порожнини A_1 та ефективну площу штокової порожнини A_2 . Порівняти ці значення та пояснити, чому при однаковій подачі рідини швидкість втягування і висування не однакова.

9. Розрахувати теоретичний об'єм рідини, необхідний для повного висування штока V_1 , і теоретичний об'єм рідини, необхідний для повного втягування штока V_2 . Зробити висновок, у якій порожнині об'єм більший і чому.

10. За номінального тиску 16 МПа обчислити теоретичне зусилля F_1 під час висування та F_2 під час втягування. Пояснити різницю отриманих значень через наявність площі штока.

11. Визначити, до якого типу навантажених механізмів доцільно застосовувати досліджуваний гідроциліндр, враховуючи його розміри, тип кріплення та хід штока. Навести приклади машин або механізмів, де такий циліндр може бути використаний.

12. Сформулювати висновки щодо конструкції, принципу дії та розрахункових характеристик гідроциліндра.

Таблиця 13.3 – Результати розрахунку основних параметрів гідроциліндра

Параметр	Формула	Результат	Одиниця
Площа поршневої порожнини A_1	$\pi D^2/4$		
Ефективна площа штокової порожнини A_2	$\pi(D^2-d^2)/4$		
Об'єм для висування штока V_1	$A_1 \cdot S$		
Об'єм для втягування штока	$A_2 \cdot S$		

V_2			
Теоретичне зусилля висування F_1 при $p=16$ МПа	$p \cdot A_1$		
Теоретичне зусилля втягування F_2 при $p=16$ МПа	$p \cdot A_2$		

Контрольні питання

1. Що називають гідроциліндром і яке його місце в системі гідроприводу?
2. Чим відрізняються поршневі, плунжерні та телескопічні гідроциліндри?
3. Що таке гідроциліндр двобічної дії?
4. Які елементи утворюють поршневу і штокову порожнини?
5. Чому зусилля висування штока більше за зусилля втягування?
6. Яке призначення ущільнювальних кілець і манжети?
7. Які основні способи кріплення гідроциліндрів до машин?
8. Що означає маркування МС80/50х400-3.11(765)?
9. Як визначається теоретичне зусилля гідроциліндра?
10. Від чого залежить швидкість переміщення штока?

Лабораторна робота 14 Вивчення гідромоторів

Мета роботи: вивчити призначення, будову, принцип дії та основні параметри гідромоторів; навчитися ідентифікувати їхні конструктивні елементи за натурними зразками; засвоїти базові розрахункові залежності для визначення крутного моменту, витрати робочої рідини та потужності.

Обладнання та матеріали: натурні зразки гідромоторів Hydrosila MBF20.56 та Hydrosila MFH71, схема аксіально-поршневого гідромотора з нерухомим похилим блоком, лінійка або штангенциркуль, калькулятор, робочий зошит або бланк звіту.



Hydrosila MBF20.56



Hydrosila MFH71

Рисунок 14.1 – Натурні зразки гідромоторів, використані в лабораторній роботі

Теоретичні відомості

Гідромотором називають об'ємну гідромашину, призначену для перетворення гідравлічної енергії потоку робочої рідини в механічну енергію обертального руху вихідного вала. У гідроприводах сільськогосподарських та інших машин гідромотори застосовують для приводу робочих органів, транспортуючих механізмів, вентиляторів, шнеків, щіток, мішалок та інших виконавчих пристроїв.

За конструктивним виконанням гідромотори можуть бути шестеренними, аксіально-поршневими, радіально-поршневими, пластинчастими та іншими. У цій лабораторній роботі розглядаються аксіально-поршневі гідромотори Hydrosila, які відзначаються компактністю, високою питомою потужністю та можливістю роботи за значних тисків.

За фото натурних зразків видно, що досліджувані гідромотори мають шліцьовий вихідний вал, фланцеве кріплення, корпус з каналами підведення і відведення робочої рідини, а також дренажні порожнини. За маркуванням на шильдиках розпізнаються моделі MBF20.56 та MFH71.

Схема і принцип дії аксіально-поршневого гідромотора показана на рис. 14.2.

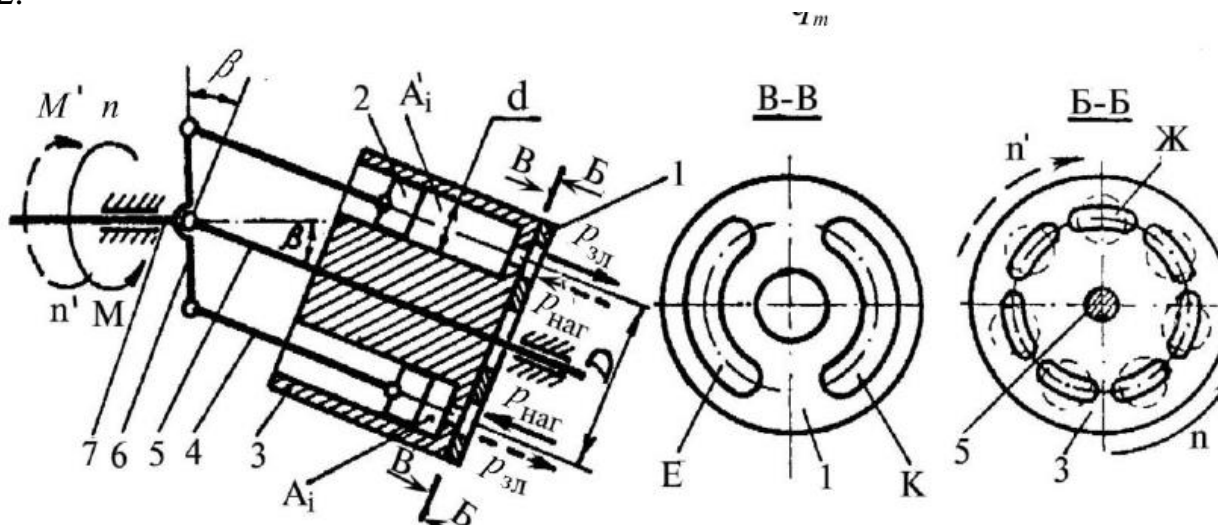


Рисунок 14.2 – Узагальнена схема аксіально-поршневого гідромотора з нерухомим похилим блоком

Пояснення до рисунка 2: 1 – розподільчий диск; 2 – поршні; 3 – блок циліндрів; 4 – шатуни; 5 – несильовий кардан; 6 – фланець вала; 7 – вихідний вал. Робоча рідина під тиском надходить у робочі камери блока циліндрів через розподільчий диск, діє на поршні, а через шатуни створює тангенціальні сили на фланці вала. У результаті вал гідромотора обертається. Під час реверсування потоку робочої рідини змінюється напрямок обертання вала.

Таблиця 14.1 – Ідентифікація натурних зразків гідромоторів

№	Фото-зразок	Марка	Конструктивний тип	Характерні зовнішні ознаки	Примітка
1	Рис. 1, ліворуч	Hydrosila MBF20.56	Аксіально-поршневий гідромотор	Похило розташований корпус; шліцьовий вал; фланцеве кріплення; порти підведення/відведення	Основний зразок для аналізу конструкції

№	Фото-зразок	Марка	Конструктивний тип	Характерні зовнішні ознаки	Примітка
				рідини	
2	Рис. 1, праворуч	Hydrosila MFH71	Аксіально-поршневий гідромотор	Компактний корпус; шліцьовий вал; фланець; різьбові або пробкові порти	Додатковий зразок для порівняння

Основні конструктивні елементи гідромотора

- корпус – утворює базову несучу частину гідромотора, в якій розміщені робочі елементи та канали для руху рідини;
- вихідний вал – передає крутний момент до приводу машини;
- фланець – забезпечує приєднання гідромотора до рами або редуктора;
- робочі порожнини та розподільчий вузол – направляють потік рідини у відповідні камери;
- дренажна порожнина – відводить внутрішні витоки та запобігає надлишковому тиску в корпусі;
- ущільнювальні елементи і підшипникові вузли – забезпечують герметичність та стійке обертання вала.

Розрахункові залежності

1. Теоретичний крутний момент на валу гідромотора:

$$M_t = \Delta p \cdot q_0 / (2\pi),$$

де Δp – перепад тиску на гідромоторі, Па; q_0 – робочий об'єм гідромотора, м³/об.

2. Дійсний крутний момент з урахуванням механічного ККД:

$$M = \eta_m \cdot \Delta p \cdot q_0 / (2\pi).$$

3. Теоретична витрата робочої рідини:

$$Q_t = q_0 \cdot n,$$

де n – частота обертання вала, об/с або об/хв залежно від прийнятої системи одиниць.

4. Для розрахунків у практичних одиницях зручно використовувати:

$$Q_t (\text{л/хв}) = q_0 (\text{см}^3/\text{об}) \cdot n (\text{об/хв}) / 1000.$$

5. Корисна потужність на валу гідромотора:

$$N = 2\pi \cdot n \cdot M / 60000, \text{ кВт},$$

якщо n задано в об/хв, а M – у Н·м.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з призначенням гідромоторів у гідроприводах машин та з'ясувати, чим гідромотор відрізняється від гідронасоса за функцією і напрямом перетворення енергії.

2. Розглянути натурні зразки гідромоторів, зображені на рисунку 1. Знайти на корпусі шильдик, записати марку, серійний номер, напрямок обертання (за наявності стрілки) та інші позначення.

3. За зовнішніми ознаками визначити тип кожного гідромотора: наявність шліцьового вала, фланця, портів підведення і відведення рідини, дренажного отвору, елементів кріплення.

4. Порівняти гідромотори MBF20.56 і MFH71 між собою. Установити, які елементи в них є спільними, а які відрізняються за формою корпусу, розміщенням портів, типом кришок та приєднувальних поверхонь.

5. Ознайомитися зі схемою аксіально-поршневого гідромотора на рис. 14.2. Визначити за нею основні елементи конструкції та занести їх до табл. 14.2.

6. На основі рисунка 2 письмово пояснити принцип дії гідромотора: шлях руху робочої рідини, утворення сил на поршнях, передавання цих сил на вал і реверсування обертання при зміні напрямку потоку.

7. Замалювати у зошиті спрощену конструктивну схему гідромотора або вклеїти роздрукований рис. 14.2, після чого підписати всі позиції.

8. Заповнити табл. 14.2 і табл. 14.3. У таблиці 1 зафіксувати дані про натурні зразки, а в таблиці 2 – призначення основних елементів схеми.

9. Виконати орієнтовний розрахунок параметрів. Якщо паспортних даних немає, у навчальних цілях допускається прийняти робочий об'єм за маркуванням: для MBF20.56 – $q_0 = 56 \text{ см}^3/\text{об}$, для MFH71 – $q_0 = 71 \text{ см}^3/\text{об}$.

10. Для одного з гідромоторів за вказівкою викладача прийняти значення перепаду тиску Δp і частоти обертання n або витрати Q . Обчислити теоретичний крутний момент, теоретичну витрату та потужність за наведеними формулами.

11. Порівняти отримані результати для двох гідромоторів і зробити висновок, як впливає робочий об'єм на крутний момент і витрату робочої рідини.

12. Сформулювати підсумковий висновок щодо конструкції, принципу дії, сфери застосування та особливостей досліджених гідромоторів.

Таблиця 14.2 – Основні елементи схеми аксіально-поршневого гідромотора

Поз.	Найменування елемента	Функція елемента
1	Розподільчий диск	Підводить і відводить робочу рідину до відповідних робочих камер блока циліндрів
2	Поршні	Сприймають тиск рідини та створюють осьові сили в робочих камерах
3	Блок циліндрів	Містить робочі камери поршнів і обертається разом з валом через кінематичний зв'язок
4	Шатуни	Передають зусилля від поршнів до фланця вала
5	Несиловий кардан	Забезпечує кінематичний зв'язок між валом і блоком циліндрів
6	Фланець вала	Сприймає зусилля від шатунів та передає крутний момент на вал
7	Вихідний вал	Віддає обертальний рух зовнішньому механізму

Таблиця 14.3 – Розрахунок основних параметрів гідромотора

Марка	q_0 , $\text{см}^3/\text{об}$	Δp , МПа	n , об/хв	Q , л/хв	M , Н·м
MBF20.56	56				
MFH71	71				

Примітка. Якщо викладач задає значення повного або механічного ККД, у формулах слід використовувати відповідний коефіцієнт. Якщо таких даних немає, спочатку визначають теоретичні значення параметрів, а потім у висновку пояснюють, чому реальні значення будуть меншими.

Контрольні питання

1. Що таке гідромотор і яке його призначення в гідроприводі?
2. Які основні типи гідромоторів застосовують у техніці?
3. Чим гідромотор відрізняється від гідронасоса?
4. Які конструктивні ознаки мають аксіально-поршневі гідромотори?
5. Яку функцію виконує розподільчий диск у гідромоторі?
6. Яка роль поршнів, шатунів і блока циліндрів у роботі гідромотора?
7. Що таке робочий об'єм гідромотора і в яких одиницях його задають?
8. Від яких параметрів залежить крутний момент на валу гідромотора?
9. Як визначити теоретичну витрату робочої рідини для гідромотора?
10. Як зміниться напрямок обертання гідромотора при реверсуванні потоку?
11. Яке призначення дренажної лінії в гідромоторі?
12. Які переваги та обмеження мають аксіально-поршневі гідромотори?

Лабораторна робота 15

Вивчення гідророзподільників

Мета роботи: вивчити призначення, різновиди, будову та принцип роботи гідророзподільників; ознайомитися з конструкцією секційного гідророзподільника Hydrosila MP80-4/2-222; навчитися ідентифікувати основні порти, робочі позиції золотника та складати спрощені гідросхеми.

Обладнання та матеріали: натурний зразок гідророзподільника Hydrosila MP80-4/2-222, фото зразка, схема золотникового розподільника, плакат або фрагмент підручника з умовними графічними позначеннями, штангенциркуль (за наявності), калькулятор.

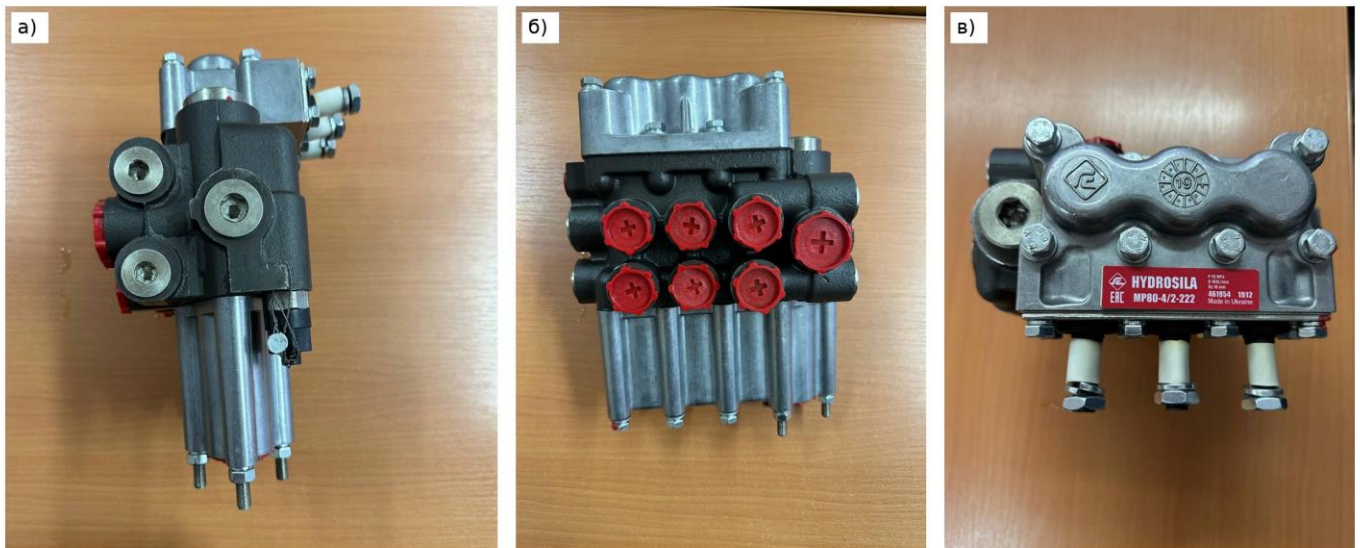


Рисунок 15.1 – Натурний зразок гідророзподільника Hydrosila MP80-4/2-222:
а – загальний вигляд; б – робочі порти секцій; в – табличка з основними параметрами

Таблиця 15.1 – Дані з таблички досліджуваного зразка

Показник	Значення
Модель	MP80-4/2-222
Номінальний тиск	20 МПа
Номінальна витрата	100 л/хв
Умовний прохід	16 мм
Виробник	Hydrosila, Україна

Теоретичні відомості

Гідравлічний розподільник – це гідроагрегат, призначений для зміни напрямку потоку робочої рідини в двох або більше гідролініях залежно від зовнішньої керуючої дії. За допомогою розподільника здійснюють реверс руху гідродвигунів, їх зупинку, утримання навантаження, а також розвантаження насоса в нейтральному положенні.

За конструкцією запірно-регульовального елемента гідророзподільники поділяють на золотникові, кранові та клапанні. У мобільній сільськогосподарській техніці найбільшого поширення набули золотникові гідророзподільники, оскільки вони відносно прості за конструкцією, малочутливі до помірного забруднення рідини і дають змогу керувати декількома споживачами.

Досліджуваний зразок MP80-4/2-222 належить до сімейства моноблочних гідророзподільників серії MP80. Для цієї серії характерні закритий центр, ручне керування золотниками, номінальний тиск 20 МПа, умовний прохід 16 мм і робота з витратою робочої рідини до 100 л/хв. Розподільник застосовується в гідросистемах тракторів, бульдозерів та іншої мобільної техніки.

Кожна секція такого розподільника має золотник, який у різних положеннях сполучає напірну лінію P, зливну лінію T і робочі лінії A та B. У нейтральному положенні гідродвигун не переміщується. У робочих положеннях одна з ліній A або B з'єднується з напором, а друга – зі зливом, що забезпечує рух штока гідроциліндра або обертання гідромотора у відповідному напрямі. Схема золотникового розподільника зображена на рис. 15.2

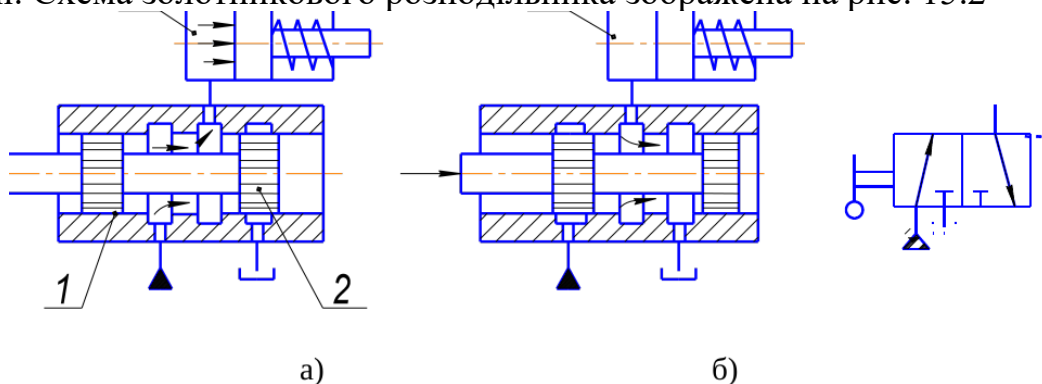


Рисунок 15.2 – Направляючий розподільник 3/2 з циліндричним золотником: а – подача робочої рідини до гідродвигуна; б – злив; 1 – корпус; 2 – золотник; 3 – гідроциліндр

Наведена схема відображає загальний принцип роботи золотникового гідророзподільника. У реальному моноблочному розподільнику МР80 кожна секція також містить корпус із розточкою, золотник і систему каналів, що сполучають лінії Р, Т, А та В. Залежно від положення золотника змінюється напрямок потоку робочої рідини.

Умовні графічні позначення

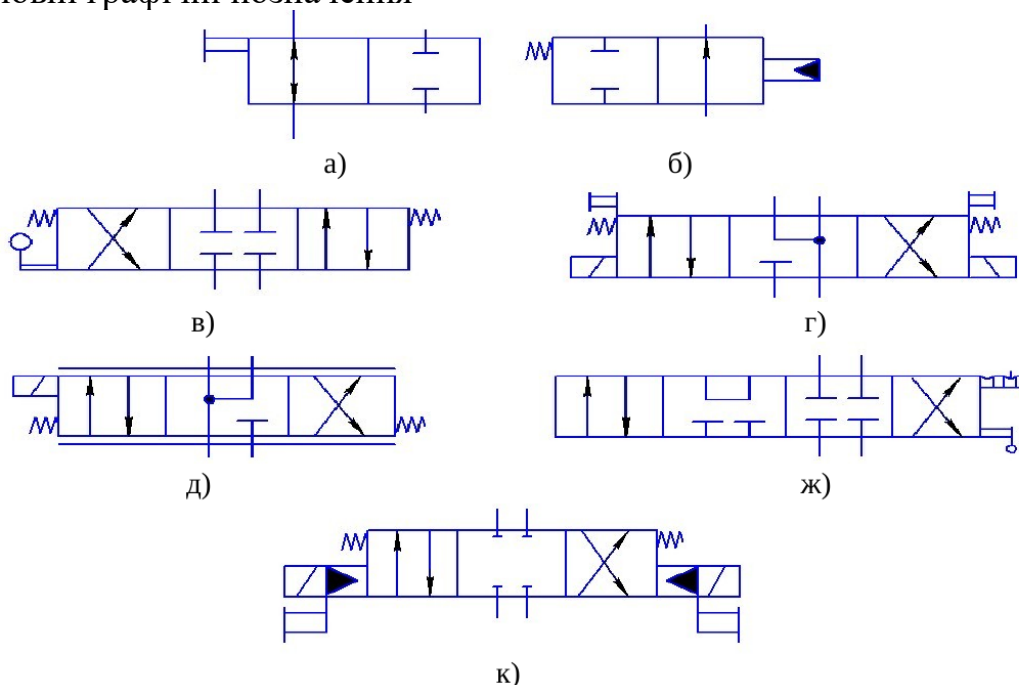


Рисунок 15.3 – Умовні графічні позначення гідророзподільників у схемах
Будова досліджуваного гідророзподільника МР80-4/2-222

- корпус моноблочного типу, у якому виконані основні напірні, зливні та робочі канали;
- секції з золотниками, що забезпечують перемикання потоків робочої рідини;
- приєднувальні отвори для підведення напірної лінії, зливу та підключення гідродвигунів;
- запобіжно-переливний вузол, який обмежує тиск у системі та запобігає перевантаженню;
- елементи ручного керування секціями; на наданому зразку рукоятки зняті, але видно місця приєднання механізмів керування;
- ущільнювальні елементи та заглушки, що забезпечують герметичність внутрішніх каналів.

Розрахункові залежності

Для орієнтовної оцінки роботи розподільника за номінальними параметрами визначають гідравлічну потужність потоку та середню швидкість рідини в умовному проході:

$$N_{\Gamma} = p \cdot Q,$$

$$Q \text{ (м}^3\text{/с)} = Q \text{ (л/хв)} / (1000 \cdot 60),$$

$$v = 4Q / (\pi d^2).$$

де N_g – гідравлічна потужність потоку, Вт; p – тиск, Па; Q – витрата, м³/с; v – середня швидкість рідини в каналі, м/с; d – умовний прохід, м. Для досліджуваного зразка: $p = 20$ МПа, $Q = 100$ л/хв, $d = 16$ мм.

Таблиця 15.2

Показник	Формула / обчислення	Результат
Витрата в SI	$100 / (1000 \cdot 60)$	0,00167 м ³ /с
Гідравлічна потужність	$20 \cdot 10^6 \cdot 0,00167$	≈ 33,3 кВт
Площа проходу	$\pi \cdot 0,016^2 / 4$	0,000201 м ²
Середня швидкість рідини	$0,00167 / 0,000201$	≈ 8,3 м/с

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з призначенням гідророзподільників, їх класифікацією та роллю в гідросистемах мобільних машин.
2. Розглянути натурний зразок Hydrosila MP80-4/2-222 і записати з таблички модель, номінальний тиск, номінальну витрату та умовний прохід.
3. За зовнішнім оглядом визначити тип розподільника: золотниковий, ручний, секційний (моноблочний) для керування декількома виконавчими органами.
4. Порахувати кількість робочих секцій за кількістю пар робочих портів і визначити, які отвори належать до робочих ліній А та В, а які – до напірної та зливної магістралей.
5. Знайти на зразку місце розташування корпусу, секцій, місць встановлення важелів керування, приєднувальних портів, заглушок і вузла обмеження тиску.
6. Порівняти натурний зразок із конструктивною схемою золотникового розподільника (рис. 15.2) та встановити, які елементи схеми відповідають реальним деталям на зразку.
7. Ознайомитися з умовними графічними позначеннями розподільників (рис. 15.3) і визначити, яке позначення відповідає чотирилінійному три- або чотирипозиційному золотниковому розподільнику, що застосовується в тракторних гідросистемах.
8. Пояснити словесно роботу однієї секції: нейтральне положення золотника; положення, за якого лінія Р сполучається з А, а В – зі зливом; положення, за якого Р сполучається з В, а А – зі зливом; плаваюче положення (за наявності).
9. Заповнити таблицю зовнішнього огляду та таблицю технічних параметрів, зазначивши призначення виявлених елементів і каналів.
10. Виконати розрахунок гідравлічної потужності потоку та середньої швидкості рідини в умовному проході за наведеними формулами.
11. Побудувати спрощену принципову схему підключення розподільника до насоса, бака та двостороннього гідроциліндра.

12. Зробити висновок щодо конструкції, принципу дії та можливостей застосування досліджуваного гідророзподільника.

Таблиця 15.2 – Результати зовнішнього огляду гідророзподільника

Елемент / ознака	Що виявлено на зразку	Призначення
Корпус		
Робочі секції		
Порти А і В		
Напірна лінія Р		
Зливна лінія Т		
Запобіжний вузол		
Місця кріплення важелів		

Таблиця 15.3 – Розрахунок параметрів потоку через гідророзподільник

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Номінальний тиск	p	МПа	
Номінальна витрата	Q	л/хв	
Умовний прохід	Dy	мм	
Гідравлічна потужність	N _г	кВт	
Середня швидкість рідини	v	м/с	

Контрольні питання

1. Що називають гідравлічним розподільником?
2. Які основні типи гідророзподільників виділяють за конструкцією запірно-регулювального елемента?
3. Чому в мобільній техніці найбільш поширені золотникові гідророзподільники?
4. Які лінії позначають літерами Р, Т, А та В на гідросхемах?
5. Яке призначення нейтрального положення золотника?
6. Як змінюється напрямок руху гідроциліндра при перемиканні золотника?
7. Яке призначення запобіжно-переливного клапана в розподільнику?
8. Що означають позначення 4/3 або 4/2 для гідророзподільників?
9. Які параметри досліджуваного зразка можна встановити за табличкою?
10. Як визначити гідравлічну потужність потоку через розподільник?

Лабораторна робота 16

Вивчення гідравлічних дроселів

Мета роботи: Вивчити призначення, будову, принцип дії та умовні графічні позначення гідравлічних дроселів; ознайомитися з натурними зразками лінійних дроселів; навчитися визначати напрямки дросельованого і вільного потоку та пояснювати використання дроселів у гідроприводах зворотно-поступальної дії.

Прилади та обладнання: дросель VDr 11 – лінійний дросель із вбудованим зворотним клапаном, дросель TGL – лінійний регульований дросель без вбудованого зворотного клапана, штангенциркуль.

Теоретичні положення

Дроселі – це гідравлічні опори з постійним або регульованим прохідним перерізом. Їх застосовують для зміни витрати робочої рідини і, відповідно, для регулювання швидкості руху гідродвигунів.

Якщо дросель поєднаний із зворотним клапаном, то в одному напрямку рідина проходить через дросельований отвір, а в іншому – вільно через обвідний канал. Така схема дозволяє забезпечити, наприклад, повільний робочий хід гідроциліндра і швидкий зворотний хід.

Під час проходження рідини через дросель частина енергії потоку втрачається на місцевий опір, що супроводжується падінням тиску Δp на дроселі. Чим менший прохідний переріз, тим менша витрата і тим вища чутливість регулювання.

Фото дроселів наведено на рис. 16.1, та 16.2.

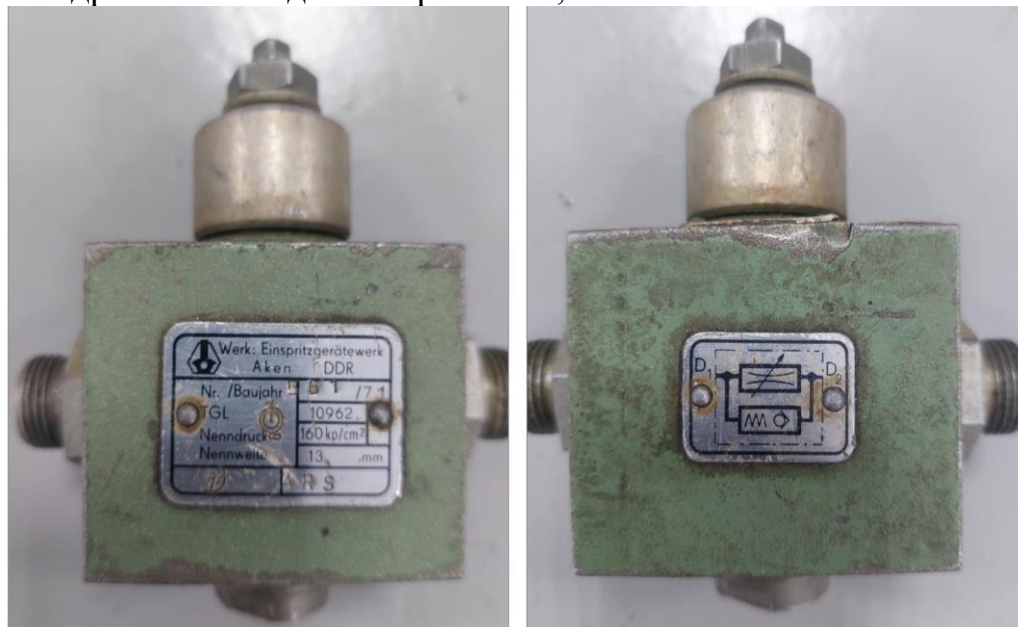


Рисунок 16.1 – Фото дроселя VDr 11: табличка з технічними даними та гідравлічне позначення

Дросель VDr 11 – це регульований дросель, який з'єднаний паралельно із зворотним клапаном. Отже, при русі рідини в одному напрямку потік проходить через дросельований канал між портами D1 і D2, а при русі в протилежному напрямку відкривається зворотний клапан і забезпечується практично вільний прохід.



Рисунок 16.2 – Додатковий натурний зразок чорного дроселя TGL: табличка та гідравлічний символ

Дросель TGL – це регульований лінійний дросель без паралельного зворотного клапана. Такий пристрій створює місцевий опір потоку в обох напрямках, якщо інше не задано схемою підключення.

За формою робочого органа дроселі можуть бути голчасті, щілинні, канавкові, гвинтові, пластинчасті та золотникові. У навчальній практиці найчастіше розглядають лінійні регульовані дроселі, що встановлюються безпосередньо в магістраль (рис. 16.4).

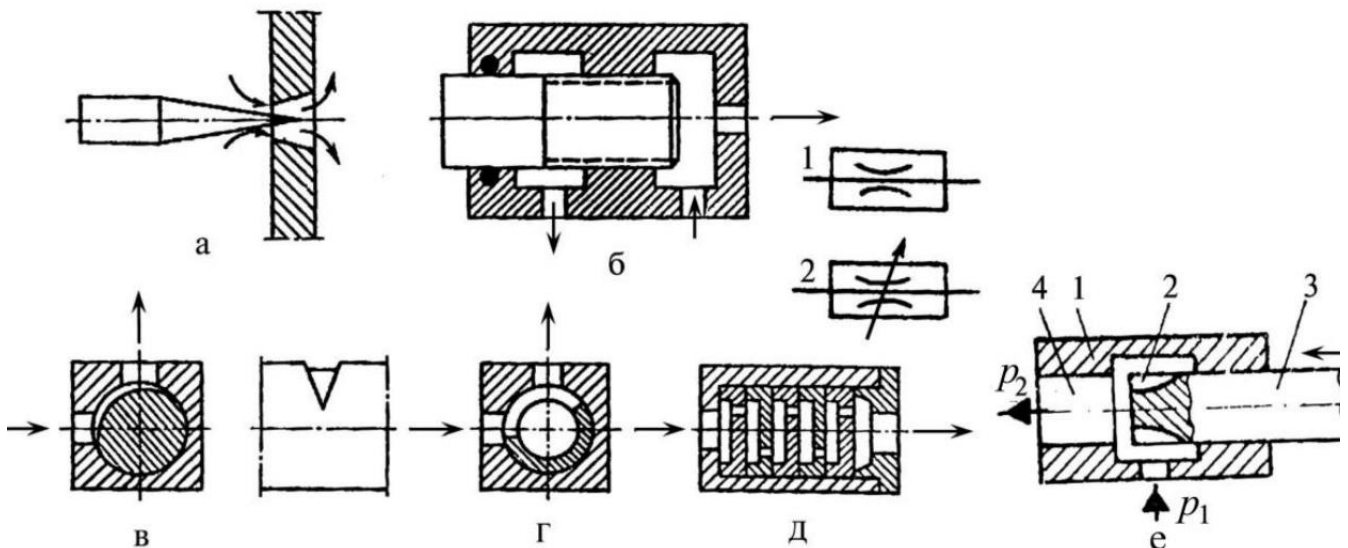
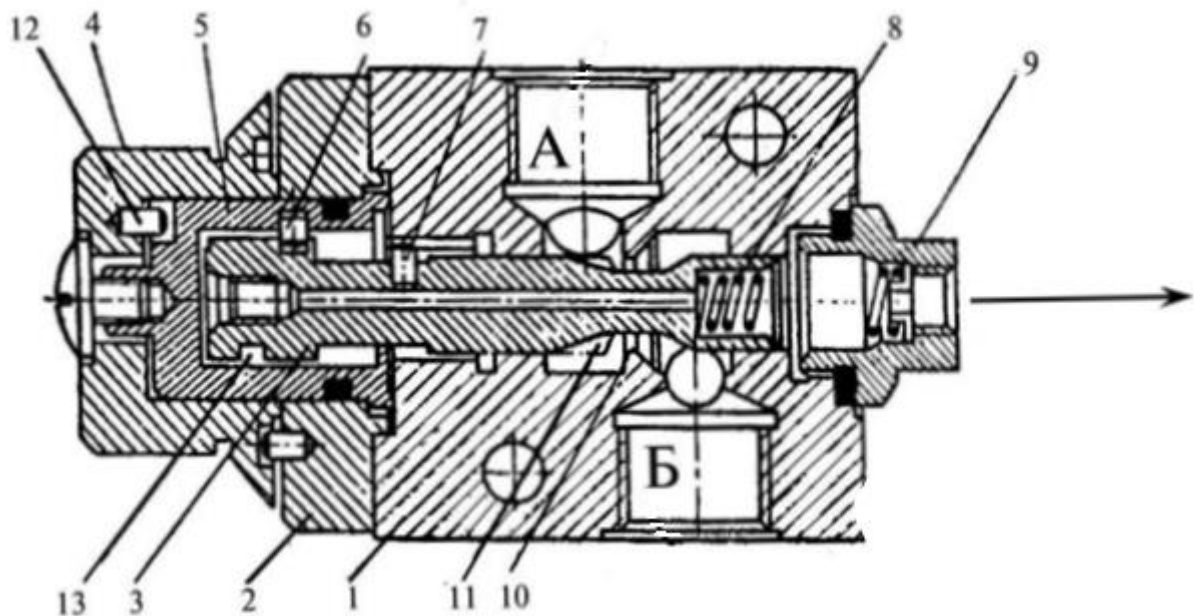


Рисунок 16.3 – Схеми дроселів і їх умовні графічні позначення: а – голчастий, б – гвинтовий, в – канавковий, г – щілинний, д – пластинчастий, е – золотниковий. 1 – дросел нерегульований, 2 – дросель регульований
Характеристики дроселів, що досліджуються наведено і в табл. 16.1.

Таблиця 16.1 – Характеристика досліджуваних зразків

Параметр	VDr 11	TGL	Примітка
Тип пристрою	Лінійний дросель із вбудованим зворотним клапаном	Лінійний регульований дросель	Визначено за табличкою та гідросимволом
Номінальний тиск	160 кгс/см ² ≈ 15,7 МПа	160 кгс/см ² ≈ 15,7 МПа	1 кгс/см ² ≈ 0,0981 МПа
Умовний прохід	13 мм	6 мм	Для TGL переріз менший
Маркування портів	D1, D2	Порти без чіткого маркування на корпусі	У VDr 11 позначення нанесене на корпусі
Особливість роботи	Вільний прохід в одному напрямку і дроселювання в іншому	Дроселювання потоку через регульований переріз	VDr 11 доцільний для швидкого зворотного ходу

Розглянемо типову схему щілинного діафрагмового дроселя (рис. 16.4). Корпус 1 утворює проточну порожнину та містить приєднувальні канали.



Рисунко 16.4 – Типова схема щілинного діафрагмового дроселя

Кришка 2 закриває механізм регулювання, а дросельний золотник 3 формує змінний прохідний переріз.

Лімб 4 і регульовальний механізм забезпечують осьове переміщення дросельного елемента, через що змінюється величина робочої щілини.

Робочі порожнини А і Б є приєднувальними каналами, через які рідина підводиться до дроселя та відводиться після проходження через нього.

Пружина та допоміжні елементи фіксують положення механізму, а також забезпечують стійкість регулювання.

Гідравлічні дроселі застосовують для регулювання швидкості гідроциліндрів, гідромоторів та інших виконавчих механізмів.

У гідроприводі зворотно-поступальної дії дросель може встановлюватися в напірній або зливній лінії. У першому випадку регулюється подача до виконавчого механізму, у другому – витрата на злив.

Лінійний дросель із зворотним клапаном особливо доцільний у схемах, де робочий орган має виконувати повільний робочий хід і швидкий зворотний хід без додаткового перемикання окремого байпаса.

Дросель VDr 11 може використовуватись як жиклер із малим отвором у зливній лінії, тобто як точний регулятор витрати з односпрямованим вільним потоком.

Витрата через дросельний отвір:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{(2 \cdot \Delta p / \rho)}. \quad (16.1)$$

Площа круглого отвору:

$$S = \pi \cdot d^2 / 4. \quad (16.2)$$

Швидкість штока гідроциліндра:

$$v = Q / A. \quad (16.3)$$

Площа поршня:

$$A = \pi \cdot D^2 / 4. \quad (16.4)$$

Площа кільцевої порожнини:

$$A_k = \pi \cdot (D^2 - d_s^2) / 4. \quad (16.5)$$

де Q – витрата; μ – коефіцієнт витрати; S – площа отвору або щілини; Δp – перепад тиску на дроселі; ρ – густина рідини; v – швидкість руху виконавчого органа; A – робоча площа гідроциліндра.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями про призначення дроселів, їх класифікацію та роль у регулюванні витрати рідини.

2. Розглянути дросель VDr 11. За фото та написами на корпусі знайти порти D1 і D2, визначити місце регульовального елемента та зчитати дані з таблички.

3. Перенести в зошит гідравлічний символ VDr 11 і пояснити, який елемент на ньому відповідає дроселю, а який – зворотному клапану.

4. Визначити, у якому напрямку для VDr 11 забезпечується дроселювання, а в якому – вільний прохід. Пояснення подати словами і невеликою схемою зі стрілками руху рідини.

5. Розглянути дросель TGL. Зчитати з таблички основні технічні дані та порівняти його символ із символом VDr 11.

6. Заповнити порівняльну таблицю технічних даних двох зразків. Зробити висновок, який із дроселів доцільніше використовувати для гідроциліндра, що повинен працювати повільно в одному напрямку і швидко в іншому.

7. За рис. 16.3 вивчити основні різновиди дроселів і їх умовні позначення. У звіті коротко зазначити, чим щілинний, голчастий і гвинтовий дроселі відрізняються за способом формування прохідного перерізу.

8. За рис. 16.4 вивчити типову будову регульованого щілинного дроселя. Розписати призначення корпусу, кришки, регулювального елемента, робочої щілини та приєднувальних порожнин.

9. За формулами (16.1-16.5) записати, від яких величин залежить витрата через дросель. За наявності індивідуальних даних викладача виконати розрахунок витрати і швидкості руху штока.

10. Сформулювати підсумкові висновки про конструкцію, роботу та сферу застосування досліджених дроселів.

Таблиця 16.2 – Технічні дані дроселів

Показник	Одиниця	VDr 11	TGL
Рік виготовлення	–		
Номинальний тиск	кгс/см ²		
Номинальний тиск	МПа		
Умовний прохід	мм		
Тип дроселя за символом	–		
Наявність зворотного клапана	так/ні		
Позначення портів	–		
Орієнтовне призначення	–		

Таблиця 16.3 – Аналіз принципу дії дроселя VDr 11

Напрямок потоку	Яким шляхом проходить рідина	Характер проходу	Можливий режим роботи гідроциліндра

Контрольні питання

1. Що таке гідравлічний дросель і яке його призначення?
2. Чим відрізняються нерегульований і регульований дроселі?
3. Які основні різновиди дроселів виділяють за формою робочого елемента?
4. У чому полягає відмінність між звичайним лінійним дроселем і дроселем зі зворотним клапаном?
5. Що означає умовний прохід дроселя?
6. Як за гідравлічним символом визначити наявність зворотного клапана?
7. Для чого в гідроприводі зворотно-поступальної дії використовують дроселі?
8. Від яких параметрів залежить витрата через дросель?
9. Чому під час дроселювання знижується швидкість виконавчого механізму?
10. У якому випадку доцільно застосовувати VDr 11 замість звичайного регульованого дроселя?

Лабораторна робота 17

Вивчення гідроприводу зворотно-поступальної дії

Мета роботи: Вивчити призначення, склад, принцип дії та основні розрахункові залежності об'ємного гідроприводу зворотно-поступальної дії; навчитися читати його принципову схему, визначати втрати тиску в елементах системи, швидкість переміщення штока гідроциліндра, зусилля на вихідній ланці та повний коефіцієнт корисної дії гідроприводу.

Обладнання та матеріали: Принципова схема гідроприводу зворотно-поступальної дії; таблиця вихідних даних за варіантом; довідкові дані щодо робочої рідини і трубопроводів; калькулятор; лінійка; методичні вказівки.

Теоретичні відомості

Гідроприводом називають привод, у якому передавання механічної енергії від двигуна до виконавчого механізму здійснюється за допомогою потоку робочої рідини. До складу об'ємного гідроприводу входять джерело гідравлічної енергії — насос, гідродвигун, гідроапаратура керування і захисту, гідролінії та допоміжні пристрої.

Для гідроприводу зворотно-поступальної дії вихідною ланкою найчастіше є гідроциліндр. При подачі рідини в поршневу порожнину його шток переміщується в одному напрямку, а при подачі в штокову порожнину — у зворотному. Зміну напрямку руху забезпечує гідророзподільник, обмеження тиску — запобіжний клапан, а регулювання швидкості — дросель.

За характером циркуляції робочої рідини гідроприводи поділяють на системи з розімкнутою і замкнутою циркуляцією. У розімкнутому гідроприводі рідина після виконання роботи зливається в бак, а у замкнутому — повертається безпосередньо до усмоктувальної магістралі насоса. Для навчальної роботи доцільно розглядати розімкнуту схему, оскільки вона є типовою для приводів сільськогосподарських машин з гідроциліндрами.

Принципова схема гідроприводу показана на рис. 17.1.

Позначення елементів схеми:

- 1 – гідронасос;
- 2 – гідроциліндр;
- 3 – гідророзподільник;
- 4 – запобіжний клапан;
- 5 – дросель;
- 6 – фільтр;
- 7 – охолоджувач робочої рідини;
- 8 – манометр;
- 9 – гідробак;
- 10 – напірна гідролінія;
- 11 – гнучкі шланги підведення робочої рідини до порожнин гідроциліндра;
- 12 – шток гідроциліндра.

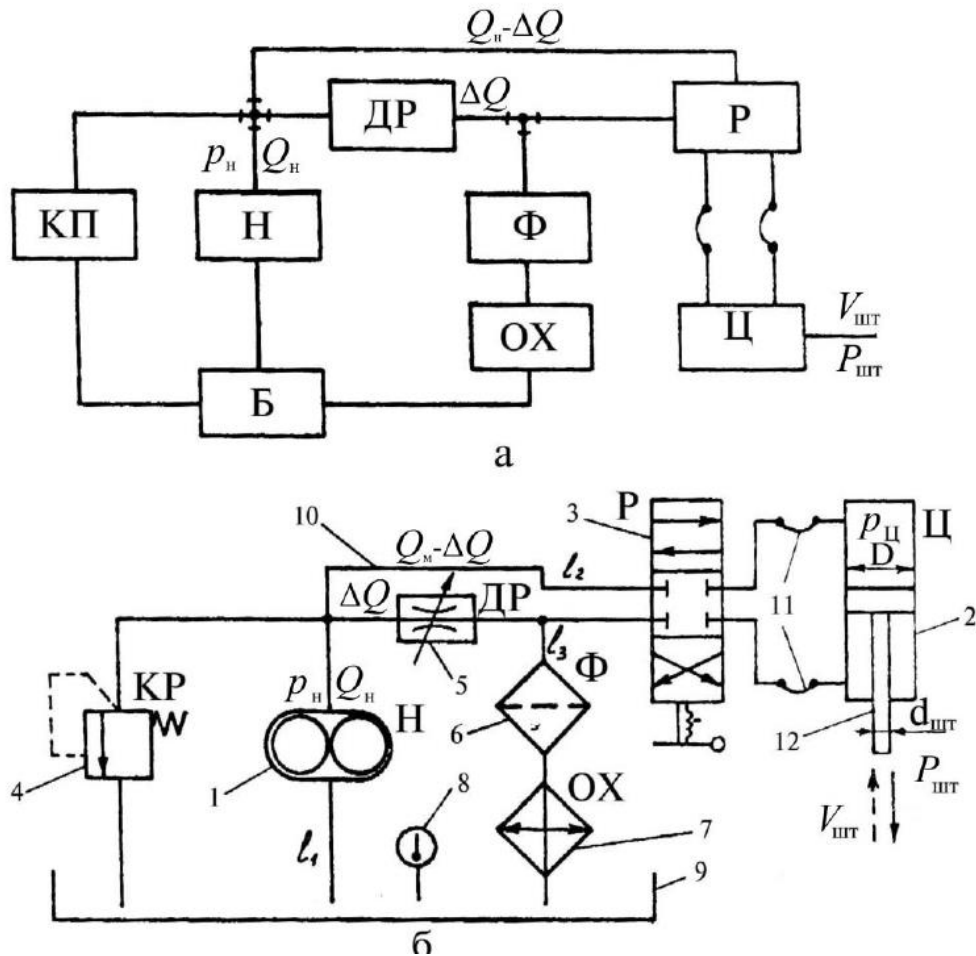


Рисунок 17.1 – Схема гідроприводу зворотно-поступальної дії з розімкнутою циркуляцією робочої рідини та дросельним регулюванням швидкості вихідної ланки

Принцип дії схеми. У нейтральному положенні золотника гідророзподільника потік робочої рідини від насоса надходить до розподільника і через елементи зливної магістралі повертається в бак. При цьому гідроциліндр залишається нерухомим.

Якщо золотник перемістити в одну з робочих позицій, робоча рідина під тиском спрямовується в поршневу порожнину гідроциліндра. Поршень зі штоком переміщується, а рідина з протилежної порожнини витісняється через розподільник у зливальну лінію і надалі повертається в бак.

При переміщенні золотника в іншу робочу позицію потік подається в штокову порожнину гідроциліндра, унаслідок чого шток рухається у зворотному напрямку. Оскільки робоча площа штокової порожнини менша за поршневу, швидкість зворотного ходу за однакової подачі насоса буде більшою, а розвиване зусилля — меншим.

Дросель створює додатковий місцевий опір і завдяки зміні прохідного перерізу дає можливість регулювати витрату рідини, а отже і швидкість вихідної ланки. Запобіжний клапан обмежує максимальний тиск у системі та захищає елементи приводу від перевантаження.

Основні розрахункові залежності

1. Площа поршневої порожнини гідроциліндра: $S_{\text{п}} = \pi D^2/4$.

2. Площа штокової порожнини гідроциліндра: $S_{ш} = \pi(D^2 - d^2)/4$.
3. Швидкість руху штока при подачі рідини в поршневу порожнину: $v_{п} = Q \cdot \eta_{гн} / S_{п}$.
4. Швидкість руху штока при подачі рідини в штокову порожнину: $v_{ш} = Q \cdot \eta_{гн} / S_{ш}$.
5. Тиск у гідроциліндрі з урахуванням втрат: $p_{ц} = p_{н} - \Delta p_{тр} - \Delta p_{ап}$.
6. Зусилля на штоці при робочому ході: $F_{п} = p_{ц} \cdot S_{п} \cdot \eta_{гц} \cdot \eta_{мех}$.
7. Зусилля на штоці при зворотному ході: $F_{ш} = p_{ц} \cdot S_{ш} \cdot \eta_{гц} \cdot \eta_{мех}$.
8. Орієнтовний внутрішній діаметр трубопроводу: $d_{тр} = \sqrt{4Q / \pi v_{ек}}$.
9. Середня швидкість рідини в трубопроводі: $w = 4Q / (\pi d_{тр}^2)$.
10. Число Рейнольдса: $Re = w \cdot d_{тр} / \nu$.
11. Втрати тиску по довжині трубопроводу: $\Delta p_{довж} = \lambda \cdot (l / d_{тр}) \cdot \rho w^2 / 2$.
12. Місцеві втрати тиску: при турбулентному режимі $\Delta p_{місц} = 0,25 \Delta p_{довж}$; при ламінарному режимі $\Delta p_{місц} = 0,12 \Delta p_{довж}$.
13. Загальні втрати тиску в трубопроводах: $\Delta p_{тр} = \Delta p_{довж} + \Delta p_{місц}$.
14. Повний ККД гідроприводу: $\eta_{\Sigma} = \eta_{гн} \cdot \eta_{гц} \cdot \eta_{мех}$.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з призначенням об'ємного гідроприводу зворотно-поступальної дії, встановити функції його основних елементів та пояснити, який саме елемент виконує роль джерела енергії, виконавчого механізму, апаратури керування і захисту.
2. Розглянути принципову схему на рис. 17.1. Для кожного позначення 1–12 записати назву елемента і коротко пояснити його функцію в системі.
3. Описати роботу схеми в трьох режимах: нейтральне положення розподільника; подача рідини в поршневу порожнину; подача рідини в штокову порожнину. У поясненні обов'язково зазначити напрямок руху робочої рідини і характер переміщення штока.
4. Виписати вихідні дані за варіантом: тиск насоса $p_{н}$, подачу Q , діаметр поршня D , діаметр штока d , довжину трубопроводу l , кінематичну в'язкість ν , густину ρ , механічний ККД $\eta_{мех}$, ККД гідронасоса $\eta_{гн}$ і ККД гідроциліндра $\eta_{гц}$.
5. Прийняти економічно доцільну швидкість руху рідини в трубопроводі $v_{ек}$ у межах 2...4 м/с і за формулою визначити орієнтовний внутрішній діаметр трубопроводу. За знайденим діаметром розрахувати фактичну середню швидкість w .
6. Обчислити число Рейнольдса і встановити режим руху рідини в трубопроводі. Після цього визначити втрати тиску по довжині та місцеві втрати згідно з умовами завдання, а потім знайти сумарні втрати тиску в гідролініях.
7. За довідковими даними або каталогами підібрати гідророзподільник і фільтр тонкого очищення, що відповідають розрахунковим параметрам системи. Записати їх основні технічні характеристики і прийнятий перепад тиску на апаратах.
8. Обчислити дійсний тиск у гідроциліндрі, а потім визначити робочу площу поршневої та штокової порожнин. На основі цього знайти зусилля на штоці та швидкість переміщення штока для обох напрямків руху.

9. Розрахувати повний коефіцієнт корисної дії гідроприводу. Проаналізувати, як на його значення впливають втрати в насосі, гідроциліндрі, трубопроводах і гідروапаратурі.

10. Зробити висновок, у якому коротко оцінити працездатність схеми, доцільність вибору її елементів та вплив дросельного регулювання на швидкість і енергетичну ефективність гідроприводу.

Таблиця 17.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Тиск насоса	p_n	МПа	
Подача насоса	Q	м ³ /с	
Діаметр поршня	D	м	
Діаметр штока	d	м	
ККД механічний	$\eta_{\text{мех}}$	—	
ККД гідроциліндра	$\eta_{\text{гц}}$	—	
ККД гідронасоса	$\eta_{\text{гн}}$	—	
Довжина трубопроводу	l	м	
Кінематична в'язкість	ν	м ² /с	
Густина робочої рідини	ρ	кг/м ³	
Прийнята економічна швидкість	$v_{\text{ек}}$	м/с	2...4

Таблиця 17.2 – Результати розрахунку

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Внутрішній діаметр трубопроводу	$d_{\text{тр}}$	м	
Середня швидкість рідини	w	м/с	
Число Рейнольдса	Re	—	
Втрати тиску по довжині	$\Delta p_{\text{довж}}$	Па	
Місцеві втрати тиску	$\Delta p_{\text{місц}}$	Па	
Сумарні втрати в трубопроводах	$\Delta p_{\text{тр}}$	Па	
Перепад тиску на апаратурі	$\Delta p_{\text{ап}}$	Па	
Тиск у гідроциліндрі	$p_{\text{ц}}$	Па	
Площа поршневої порожнини	$S_{\text{п}}$	м ²	
Площа штокової порожнини	$S_{\text{ш}}$	м ²	
Швидкість робочого ходу	$v_{\text{п}}$	м/с	
Швидкість зворотного ходу	$v_{\text{ш}}$	м/с	
Зусилля робочого ходу	$F_{\text{п}}$	Н	
Зусилля зворотного ходу	$F_{\text{ш}}$	Н	
Повний ККД гідроприводу	η_{Σ}	—	

Контрольні питання

1. Дайте визначення об'ємного гідроприводу зворотно-поступальної дії.
2. Які основні елементи входять до складу цього гідроприводу і які функції вони виконують?
3. Чим відрізняється гідропривод з розімкнутою циркуляцією робочої рідини від гідроприводу із замкнутою циркуляцією?
4. Яку роль у схемі виконує запобіжний клапан?
5. Для чого у гідроприводі встановлюють дросель і як він впливає на швидкість вихідної ланки?
6. Чому швидкість руху штока при подачі рідини в штокову порожнину більша, ніж у поршневу?

7. Від чого залежить зусилля, яке розвиває гідроциліндр?
8. Як визначають втрати тиску в трубопроводах?
9. Які чинники впливають на повний ККД гідроприводу?
10. У яких машинах агроінженерії застосовують гідроприводи зворотно-поступальної дії?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гідравліка : навч.-метод. посібн. / О. В. Дмитрієнко, Н. М. Фатєєва, О. М. Фатєєв, Н. Г. Шевченко. – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 117 с. Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/5edfc9c6-0497-4d58-be1c-787fc04c5545>.
2. Гідравліка : підручник / О. В. Ратушний, О. Г. Гусак. – 2-ге вид., переробл. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 251 с. Режим доступу: https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/89403?utm_source=chatgpt.com
3. Гідравліка і сільськогосподарське водопостачання : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів всіх форм навчання за спеціальності 208 Агроінженерія / [уклад. :Т. В. Руденко, Ю. В. Кулешков] : Мін-во освіти та науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. Експлуатації та ремонту машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 35 с. Режим доступу: <https://dSPACE.kntu.kr.ua/items/57f91b44-da83-4b4d-99b7-1192cd9eea73>
4. Корець М. С. Гідравліка, пневматика, термодинаміка: навч. посіб. Київ: Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2020. 323 с.
5. Колісніченко Е. В., Мандрика А. С., Панченко В. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: конспект лекцій. Суми: СумДУ, 2021. 176 с.
6. Цехмістро Л. М., Яковлева Л. К., Дмитрієнко О. В., Шевченко Н. Г., Фатєєва Н. М., Фатєєв О. М. Гідравліка: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2020. 122 с.
7. Дранковський В. Е., Миронов К. А., Фатєєва Н. М., Рєзва К. С., Крупа Є. С. Технічна термодинаміка, гідравліка і гідромашини: навч. посібник у 2 ч. Ч. 1: Технічна термодинаміка та гідростатика. Харків: НТУ «ХП», 2020. 194 с.
8. Дранковський В. Е., Миронов К. А., Фатєєва Н. М., Рєзва К. С., Крупа Є. С. Технічна термодинаміка, гідравліка і гідромашини: навч. посібник у 2 ч. Ч. 2: Гідродинаміка та гідравлічні машини. Харків: НТУ «ХП», 2020. 223 с.
9. О.П.Герасимчук, О.Л.Ткачук, В.С. Пуць, А.І. Охремов. Отримання текстильного волокна з хвої за допомогою машини для м'яття з гідравлічним притисканням. Наукові нотатки, 77. 2024. 120-124 / URL: <https://doi.org/10.36910/775.2415396>
10. Herasymchuk O. P., Tkachuk O. L., Volianskyi V. O. Implementation of integrated machine-technological systems for harvesting and processing Scots pine needles [Електронний ресурс] // Наукові нотатки : міжвузів. зб. наук. пр. –

Луцьк : Луцький національний технічний університет, 2025. – Вип. 81. – С. 127–133. – Режим доступу: http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/naukovi_notatky

11. Festo FluidSIM Student [Електронний ресурс] : демоверсія програмного забезпечення для моделювання пневматичних і гідравлічних схем. – Режим доступу: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/software/fluid-sim/>.

12. Amatrol – Basic Hydraulic Virtual Trainer [Електронний ресурс] : інтерактивний симулятор гідравліки з автоперевіркою вправ. – Режим доступу: <https://amatrol.com/product/basic-hydraulics/>.

Г36

Гідравліка, гідро- та пневмоприводи [текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» галузі знань Н Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина спеціальності Н7 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. О.П.Герасимчук. – Луцьк : ЛНТУ, 2025. 84 с.

Комп'ютерний набір
Редактор

О.П.Герасимчук
О.П.Герасимчук

Підп. до друку _____ р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Times New Roman
Ум. друк. арк. 5,25. Обл.-вид. арк. 3,44

