

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Механічний факультет

Кафедра будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова

Методичні вказівки

до вивчення дисципліни

«Гідравліка, гідропневмопривод». Частина 2 – «Гідропневмопривод»

(лабораторні роботи 1...4)

рівень підготовки

бакалавр

галузь знань

13 – Механічна інженерія

спеціальність

133 – Галузеве машинобудування

Затверджено радою  
механічного факультету,  
протокол № 1 від 09.09.2022 р.

Харків  
ХНАДУ  
2022

Основою для складання методичних вказівок є навчальний план ХНАДУ, в який входить дисципліна «Гідравліка, гідропневмопривод (частина 2 – гідропневмопривод)» підготовки бакалаврів в галузі знань 13 - Механічна інженерія, спеціальності 133 - Галузеве машинобудування, за освітньою програмою - Галузеве машинобудування, яка розроблена на кафедрі БДМ ім. А.М. Холодова. Цим планом передбачається проведення 8 лабораторних робіт. Метою проведення занять є ознайомлення студентів с методиками розрахунків на основі використання основних законів і рівнянь для визначення зусиль, витрат та втрат робочої рідини, визначення вихідних параметрів та ККД гідропрстроїв, зокрема насосів, гідроциліндрів, гідромоторів та гідророзподільників. Також розглянуті методики розрахування швидкості гідроциліндрів і гідромоторів при застосуванні дросельного регулювання витрати робочої рідини. Приділено увагу на ознайомлення студентів з основними позначками гідропрстроїв на гідравлічних принципових схемах і правилами їх з'єднання.

В основі складання лабораторних робіт є методика навчання фірми «Festo Didactic» (Hydraulics course for vocational training Instructors manual – курс гідравліки для професійного навчання, інструкція викладача) та досвід викладання дисциплін в ХНАДУ, пов'язаних з об'ємним гідроприводом та гідропневмоавтоматикою.

Укладачі: Г. А. Аврунін,  
І. Г. Пімонов

Рецензент: О.В. Щербак

Кафедра будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова. ХНАДУ – 77 с.

## ВСТУП

Наведені лабораторні роботи спрямовані на формування інженерних знань при вивченні об'ємних гідропневмоприводів (ОГП) та гідропневмоавтоматики (ГПА) будівельних та дорожніх машин (БДМ) для забезпечення сучасного технічного рівня і конкурентоспроможності проєктованих механізмів і машин. Мета справжніх вказівок – ознайомлення студентів з методиками розрахунку та аналізом їх результатів. Отримані навички можуть бути застосовані при виконанні спеціальних завдань в бакалаврських та магістерських дипломних роботах.

Видання містить 4 лабораторні роботи (1...4).

При виконанні лабораторних робіт студенти знайомляться з позначеннями гідропневмопристроїв, гідравлічними та пневматичними принциповими схемами гідропневмоприводів, виконують розрахунки і представляють їх в графічному вигляді та дають відповідні висновки.

Особлива увага при виконанні лабораторних робіт приділена сучасній термінології гідропневмопристроїв, ознайомленню з вітчизняними та міжнародними стандартами, зокрема з ДСТУ ISO 4413:2002 (Гідроприводи об'ємні. Загальні правила застосування).

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з лабораторною базою кафедри БДМ ім. А.П. Холодова. Позначення гідропрстроїв. Правила охорони праці та пожежної безпеки при роботах з об'ємними приводами .....	5
Лабораторна робота № 2. Розрахунок і аналіз зусилля від тиску в об'ємному гідроприводі підйомника .....	14
Лабораторна робота № 3. Розрахунок і аналіз втрат тиску та витрати робочої рідини при турбулентному режимі течії .....	18
Лабораторна робота № 4. Розрахунок і аналіз витоків робочої рідини при ламінарному режимі течії .....	26

Гідравліка, гідропневмопривод  
Лабораторна робота № 1

Ознайомлення з лабораторною базою кафедри БДМ ім. А.П. Холодова.  
Позначення гідропристроїв. Правила охорони праці та пожежної  
безпеки при роботах з об'ємними приводами.

Мета роботи – отримати інформацію про склад стендового гідравлічно-го обладнання. Ознайомитися зі стандартними позначеннями гідропневмопристроїв. Вивчити правила охорони праці та пожежної безпеки при роботах з об'ємними приводами, зокрема ознайомитися з вимогами ДСТУ ISO 4413:2002, зокрема розділи 4.2, 4.3 та додаток В.

На рис. 1...4 представлені стендові установки для проведення лабораторних робіт та практичних занять.

Стенд фірми «Festo Didactic» (рис. 1) дозволяє скласти гідравлічні принципові схеми за допомогою гідропристроїв різного призначення, рукавів високого тиску (РВД) та швидкороз'ємних з'єднань (БРС).



Рис. 1 – Гідравлічний учбовий стенд фірми «Festo Didactic»

Стенд включає гідробак ємністю 40 дм<sup>3</sup> та дві насосних установки, кожна з котрих має секційний двохпотоківий насос та приводний електродвигун моделі FDR 90 S/4P потужністю 1,1 кВт для роботи на частоті обертання 1420 хв<sup>-1</sup> при напрузі 380 В. Робочий об'єм кожного з насосів складає 2,8 см<sup>3</sup>, тиск в гідросистемі до 6,3 МПа.

Стенд для проведення лабораторної роботи з пневматики «Розрахунок параметрів повітряного потоку за допомогою сопла Вентурі» приведений на рис.

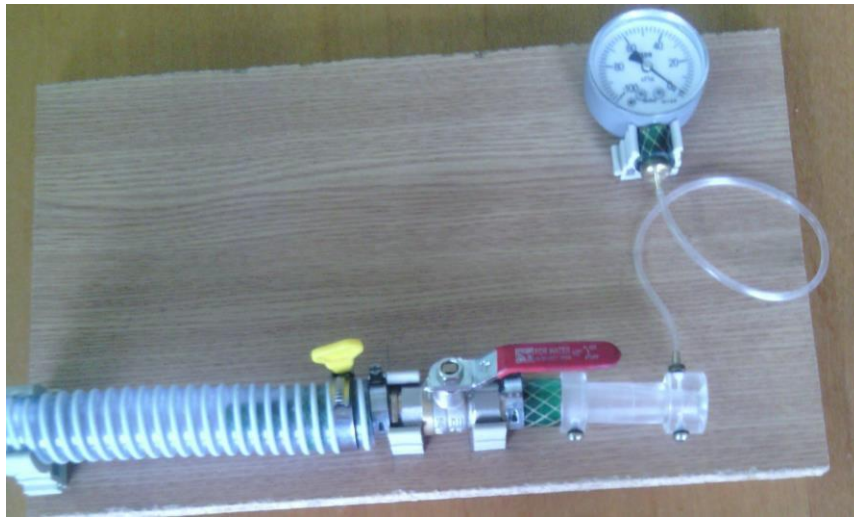


Рис. 2 – Стендова установка для виконання лабораторної роботи з пневматики (джерело відсмоктування повітря умовно не показаний)

Гідростанція (гідралічний агрегат) моделі SMA05-79/8.M-C22-60E-B14/02400 виробництва фірми ARGO-HYTOS s.r.o. (Німеччина) представлена на рис. 3. До складу гідростанції входять гідробак (40 дм<sup>3</sup>), шестеренний насос з робочим об'ємом 7,9 см<sup>3</sup>, приводний електродвигун потужністю 1,5 кВт при частоті обертання 1500 хв<sup>-1</sup> та напрузі 230 В, що дає можливість розвивати подачу в 10,5 л/хв при тиску до 7,5 МПа. Гідророзподільник з електрогідралічним пропорційним керуванням дозволяє регулювати витрату РР до гідроциліндра або гідромотора, що дає можливість змінювати безступеневого швидкість та частоту обертання цих гідропристроїв.

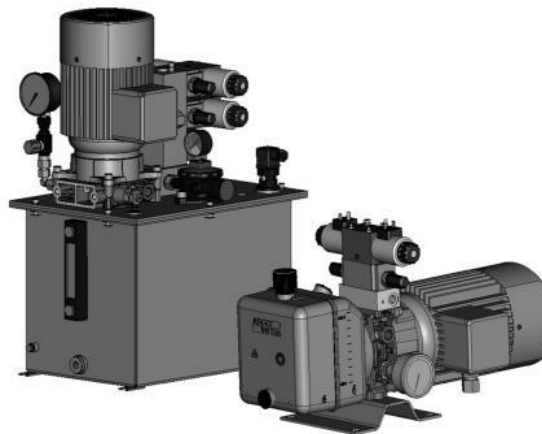


Рис. 3 – Гідростанція (гідралічний агрегат) моделі SMA05-79/8.M- C22-60E-B14/02400 (зліва) фірми ARGO-HYTOS s.r.o. (Німеччина)

Планується до постачання в 2020 р. гідростанція моделі «Мотор-імпекс-ХНАДУ (рис. 4) з системою електрогідралічного керування витратою РР за допомогою електрогідралічного пропорційного (безступеневого) двопровідного регулятора витрати для регулювання швидкості одноштокового поршневого гідроциліндра (50x30x200 мм) або героторного гідромотора з робочим об'ємом 50 см<sup>3</sup>.

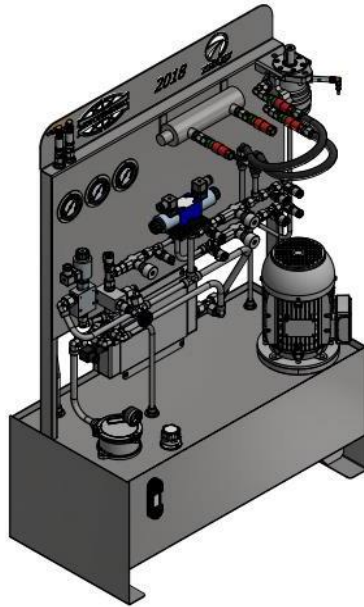


Рис. 4 – Гідростанція «Мотор-імпекс-ХНАДУ»

До складу гідростанції входять гідробак ємністю 60 дм<sup>3</sup>, шестеренний насос з робочим об'ємом 10 см<sup>3</sup>, який за допомогою приводного електродвигуна потужністю 2,2 кВт при частоті обертання 1500 хв<sup>-1</sup> та напрузі 220 В може розвивати тиск до 6,3 МПа, гідроприспори захисту від перевантажень, реверсування напрямку та значення витрати до гідроциліндра або гідромотора, засоби для кондиціонування РР (фільтри та охолоджувач), а також засоби для контролю параметрів ОГП (манометри, перетворювачі тиску, температури РР та частоти обертання гідромотора, реле рівня РР в гідробаку).

Лабораторна база для вивчення конструкцій окремих гідропневмопристроїв включає:

1. Радіальнопоршневої ексцентриковий насос з клапанним розподілом РР на тиск до 32 МПа (застосовується в ковальсько-пресовому обладнанні)
2. Мініатюрний радіальнопоршневої ексцентриковий насос з клапанним розподілом на тиск до 50 МПа в розібраному вигляді;
3. Поворотний пневмодвигун для приводів роботів і маніпуляторів;
4. Пневмоциліндр;
5. Запобіжний клапан непрямої дії;
6. Фільтр в зборі та окремі фільтроелементи;
7. Гідророзподільники з ручним і електромагнітним керуванням;
8. Електрогідравлічний перетворювач потужності (сервозолотник) для систем стежного управління і автоматизації виробничих процесів;
9. Пневмодвигун поворотний рейковий;
10. Клапан зворотний в розібраному вигляді;
11. Поршні і під'ятники аксіально-і радіальнопоршневих гідромашин (насосів і гідромоторів);
12. Золотникові пари різних гідророзподільників;
13. Деталі рукава високого тиску (РВД);

14. Датчик (перетворювач) рівня робочої рідини;
15. Датчики тиску і температури з аналоговим виходом;
16. Пневморозподільник.
17. Ущільнення різних типів для гідроциліндрів.
18. Прес для перевірки манометрів і перетворювачів тиску з аналоговим виходом;
19. Деталі автоматичної коробки передач з гідротрансформатором;
20. Плакати, на яких зображені гідропристрої різного призначення;
21. Каталоги фірм-виробників гідропневмообладнання.

Заходи безпеки і охорона праці при роботах з гідроприводами.

1. До небезпечних чинників під час експлуатації ОГП належать:
  - рухомі частини ОГП;
  - підвищений тиск у гідросистемі;
  - шум і вібрація;
  - забруднення природи через витоки РР.
2. Під час монтажу й експлуатації ОГП необхідно дотримуватися вимог безпеки за ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.2.086 і ГОСТ 12.2.040 та інструкцій з експлуатації на кожний гідропристрій і гідромашину.
3. Під час прокладання трубопроводів уздовж виробу не дозволене їх кріплення за допомогою зварювання.
4. Муфти з'єднання валів насосів і гідромоторів повинні мати огорожі відповідно до технічної документації.
5. На проставках (перехідниках), що з'єднують вали насосів і гідромоторів з приводними двигунами і виконавчими механізмами, відповідно, приєднувальних фланцях (штуцерах) і рукавах високого тиску мають бути нанесені червоною фарбою стрілки вказівки напряму обертання і мітки, що вказують на зони нагнітання (високого тиску) РР.
6. Підключення електроживлення до електродвигунів і датчиків на гідропристроях повинні проводитися тільки після повного закінчення складально-монтажних робіт.
7. Заборонено під час експлуатації ОГП проводити роботи щодо технічного обслуговування, зокрема підтягнення різьбових з'єднань, очищення і обтирання гідропристроїв.
8. Під час проведення випробувань ОГП електродвигуни стенда мають бути вимкнені при:
  - 1) руйнуванні або загорянні гідроелектрообладнання;
  - 2) спрацьовуванні аварійної сигналізації при максимальному тиску нагнітання, мінімальному тиску підживлення, мінімальному рівні РР у гідробаку або її максимальній температурі;
  - 3) відмові вимірювальних приладів, зокрема при будь-яких пошкодженнях манометрів;
  - 4) припиненні подачі охолоджувальної рідини;

- 5) появі підвищених зовнішніх витоків РР;
- 6) появі підвищеного шуму, стукоту і вібрації.

Подальше ввімкнення (запуск) ОГП можливе тільки після усунення несправностей.

9. Функціонування запобіжних клапанів необхідно перевіряти перед початком випробувань.

10. Заборонена експлуатація ОГП на режимах, що перевищують гранично допустимі за тиском, частотою обертання і температурою РР.

11. Під час перевірки на відсутність витоків РР для всіх випробовуваних гідропрстроїв повинен виконуватися такий регламент:

- при нульовому (мінімальному) тиску протягом 3 хв;
- при максимальному тиску протягом не менше 3 хв.

12. На манометрах (шкалі або корпусі) мають бути нанесені червоні мітки, відповідні найбільшому або найменшому тиску, що допускається, в магістралях ОГП (основних, підживлення, керування і дренажу) або стендового устаткування. Головки гвинтів отворів для випускання повітря і зливні пробки на гідромашинах мають бути забарвлені в контрастний колір.

На рис. 5 представлені позначення гідропрстроїв (перший рівень).

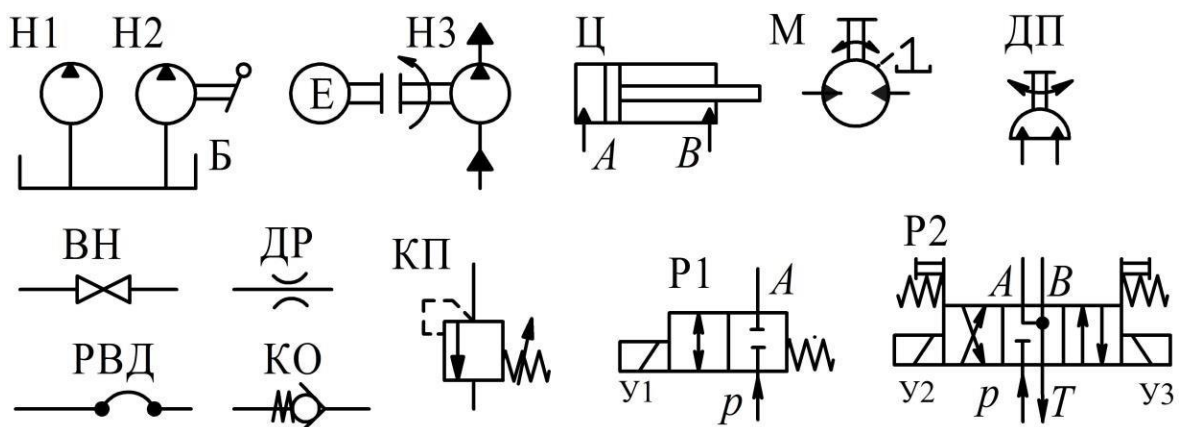


Рис. 5 – Позначення гідропрстроїв (перший рівень): Б – гідробак; Н1 – насос; Н2 – насос з ручним (мускульним) приводом; Н3 – насос з приводним електродвигуном Е; Ц – гідроциліндр поршневий з однібічним штоком; М – гідромотор реверсивний; ДП – двигун поворотний; ВН – засувка; РВД – рукав високого тиску; ДР – дросель нерегульований; КО – клапан зворотний; КП – клапан запобіжний; Р1 – гідророзподільник золотниковий двопозиційний з електромагнітним керуванням (електромагніт У); Р2 – гідророзподільник золотниковий трипозиційний з електромагнітним керуванням (електромагніти У1 і У2), з пружинним центруванням в середньому положенні та з ручним дублюванням робочих позицій.

Опис гідравлічної принципової схеми стендової установки.

Об'ємний гідропривод (ОГП) стендової установки для проведення лабораторних робіт наведено на рис. 6. До складу гідропривода входять приводний електродвигун  $E$  напругою 380 В, шестеренний насос  $H$  (на схемі показана тільки одна секція двохпотокового насоса), запобіжний клапан  $KП$ , гідроциліндр  $Ц$ , гідромотор  $M$ , гідророзподільники  $P1 \dots P3$ , дроселі  $ДР1$  і  $ДР2$ , мірна ємність (витратомір)  $РА$  з гідровентилем  $ВН$ , гидробак  $Б$ , фільтр  $\Phi$ , і вимірювальне обладнання. На стенді використовуються гідроциліндр  $Ц$  поршневого типу з одностороннім штоком та гідромотор  $M$  реверсивного типу з вихідним валом. Гідророзподільник  $P1$  забезпечує підведення робочої рідини (РР) до двох інших гідророзподільників:  $P2$  – переміщення гідроцилінра  $Ц$ ;  $P3$  – обертання гідромотора  $M$ .

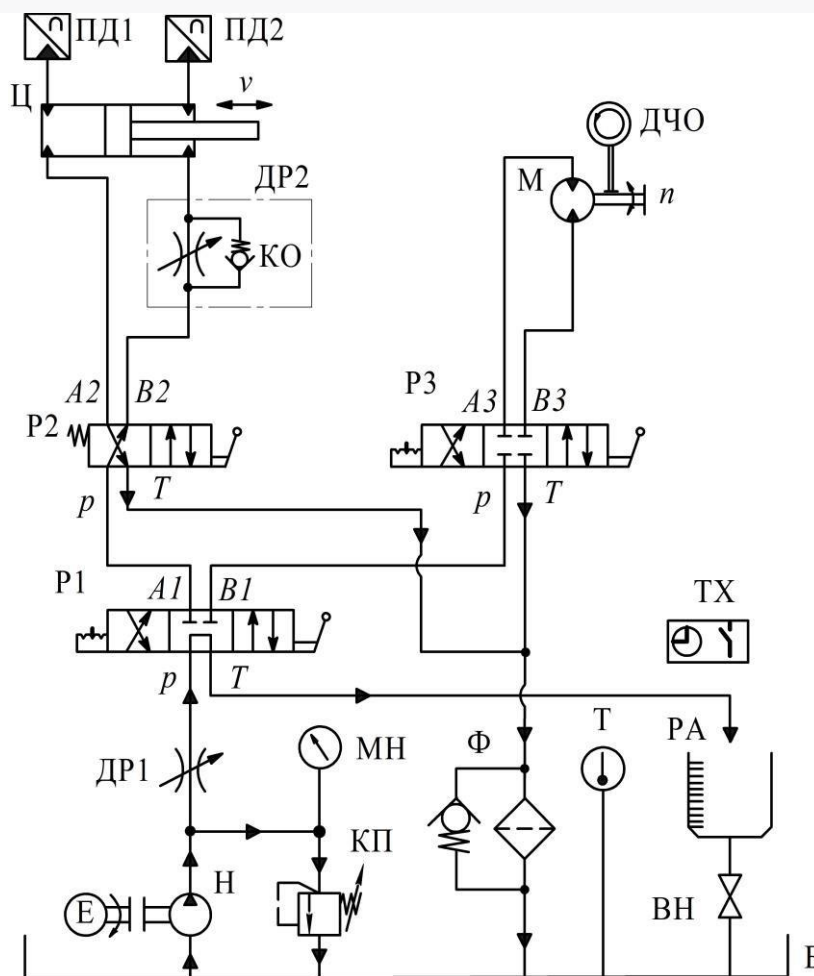


Рис. 6 – Гідравлічна принципова схема навчального стенду фірми «Фесто» (з'єднувальні рукава РВД між гідропристроями умовно не показані)

Всі гидророзподільники мають ручний вид управління, в тому числі:

$P1$  – трьохпозиційний, чотирипровідний з 64-ї схемою комутації каналів в середньому положенні ( $A$  і  $B$  перекриті,  $p$  і  $T$  повідомлені з баком), золот-

ник гідророзподільника центрується в нейтральному положенні завдяки пружинам з обох торців золотника;

Р2 – двопозиційний чотирипровідний;

Р3 – трьохпозиційний, чотирипровідний, в нейтральній позиції має 44-у схему комутації каналів (всі канали, *A*, *B*, *p* і *T* перекриті).

Дросель ДР1 служить для регулювання витрати РР на вході в гідророзподільник Р1, дросель ДР2 забезпечений зворотним клапаном КО для отримання різних значень швидкості переміщення поршня гідроциліндра в залежності від вимог технологічного процесу робочого органу ОГП.

Апаратура для контролю параметрів ОГП:

МН – манометр для візуального контролю тиску;

ПД1 і ПД2 – перетворювачі тиску з аналоговим вихідним сигналом;

ДЧВ – тахометр для вимірювання частоти обертання валу гідромотора;

Т – термометр в гідробаку стенду;

ТХ – секундомір для виміру часу переміщення штока гідроциліндра і заповнення ємності витратоміра РР.

Всі з'єднання гідроприскоїв виконані за допомогою рукавів високого тиску з швидкокороз'ємними муфтами і запірними клапанами, забезпечуючи легкий ремонт стенду для проведення лабораторних робіт. На рис. 7 представлений загальний вигляд швидкокорознімного з'єднання БРС, що складається з охоплювальної 1 (НР10-2-Х0041) і охопленої 2 напівмуфт із нарізкою М20х1,5 на кінцях, зовнішньої втулки з рифленням «а», шариків 3, які встановлені в каналці «б», зворотних клапанів 4 і 5 з кільцевими ущільнювачами 6, втулок 7 і замкових кілець 8, пружини 9.

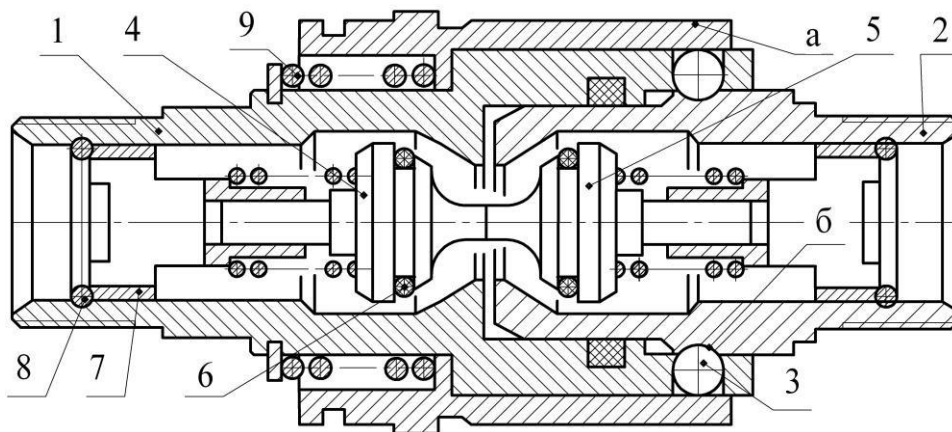


Рис. 7 – Швидкокорознімне з'єднання (БРС)

Для роз'єднання муфти необхідно:

– зрушити рифлену втулку «а» фіксатора напівмуфти 1 до виходу шариків фіксатора, при цьому охоплювана напівмуфта 2 виштовхується пружинами клапанів 4 і 5 напівмуфт;

– закрити напівмуфти захисними пластмасовими ковпачками.

Для з'єднання напівмуфт необхідно:

– зрушити рифлену втулку «а» фіксатора охоплювальної напівмуфти 1 до виходу шариків 3 фіксатора і вставити охоплювану напівмуфту 2 до заходу шариків фіксатора в канавку «б» корпусу охоплюваної напівмуфти 2. Відпустити рифлену втулку «а»;

– з'єднати між собою пластмасові ковпачки. Поряд з охоплювальною напівмуфтою НР10-2-Х0041 для під'єднання гідросистем, агрегатованих із трактором машин, можливе застосування охоплювальних напівмуфт НР10-2-Х0048 (штуцер М27х1,5) і НР10-2-АGF-08 (штуцер G1/2).

На рис. 8 представлені як окремі позначення гідропрстроїв згідно рис. 6, де також введено позначення НУ (насосна установка) і добавлений витратомір РА1 в іншому позначенні.

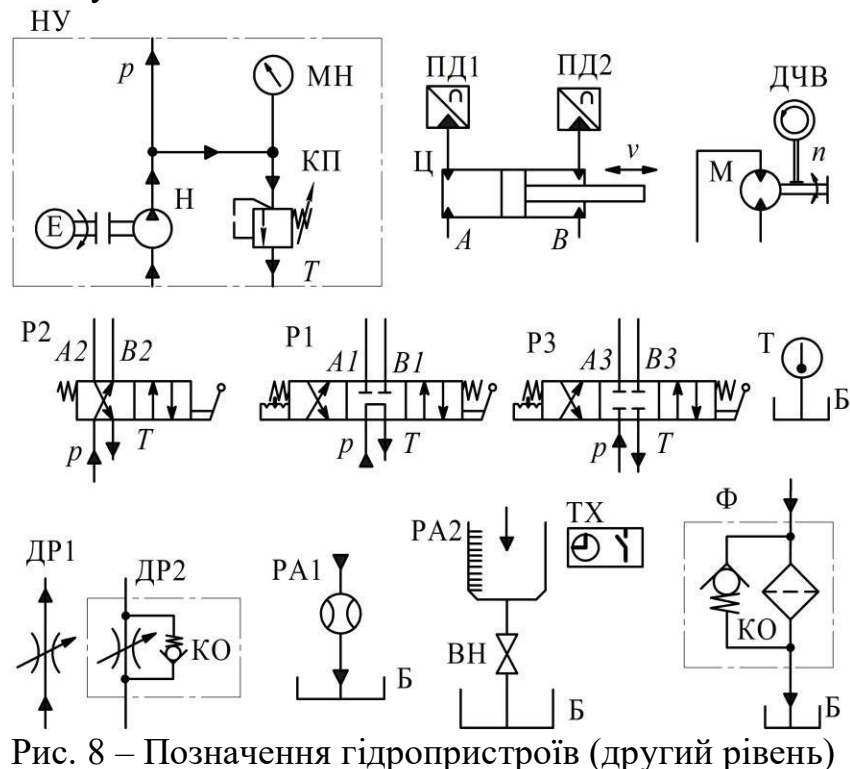


Рис. 8 – Позначення гідропрстроїв (другий рівень)

На рис. 9 приведена гідравлічна приципова схема ОГП з позначками з'єднання (роз'єднання) трубопроводів. Гідропрстрої, призначений для перемішування РР чи передавання тиску від одного гідропрстрою до іншого, називається гідропроводом. Конструктивно гідропроводами (трубопроводами) є труби, рукави, канали та їхні з'єднання. Розрізняють всмоктувальний, напірний і зливний гідропрстрої, гідропрстрій керування, дренажний гідропрстрій, гнучкий та жорсткий гідропрстрої. 1н – трубопрстрій нагнітання; 1зл – трубопрстрій зливу в гідробак Б; 1вс – трубопрстрій всмоктування; 2 – дренажні трубопрстрої; 3 – фланцеві з'єднання трубопроводів до гідромотора М; 4 – з'єднання трубопроводів (трійник); 5 – місце приєднання до трубопроводу для відведення енергії або установки вимірювального приладу (закрите); 6 – місце приєднання до трубопроводу з можливістю підключення приладу без зупинки насоса; 7 – штуцерне різьбове з'єднання; 8 – відкритий вхід або вихід з трубопр-

воду; 9 і 10 – перетин трубопроводів без об'єднання (два варіанти позначення, що допускаються); РВТ (РВД) – рукав високого тиску (гнучкий рукав або шланг).

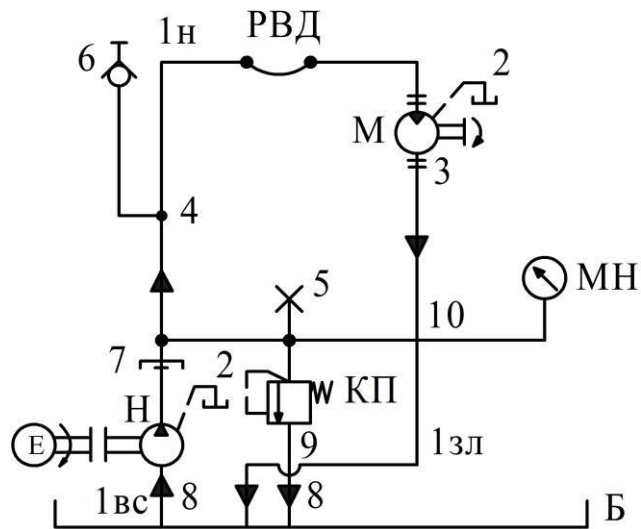


Рис. 9 – Гідралічна принципова схема ОГП, що включає різні типи трубопроводів і їх з'єднань

Для задачі роботи необхідно:

1. Навести ескізи позначень гідропрстроїв першого та другого рівня;
2. Знати основні правила охорони безпеки;
3. Дати огляд номенклатури гідростанцій та пневмопрстроїв для проведення лабораторних робіт з дисципліни.

## Гідравліка, гідропневмопривод

### Лабораторна робота 2 – Розрахунок і аналіз зусилля від тиску в об’ємному гідроприводі підйомника

Мета роботи: придбання студентом навичок роботи з методиками розрахунку параметрів гідропривода.

Завдання 1.4. Розрахувати діаметри поршнів, швидкість підйому вантажу, подачу насоса і потужність двохпоршневого підйомника с об’ємним гідроприводом (рис. 1) при заданих значеннях зусилля  $F_1$ , тиску  $p$  та часу  $t$  підйому вантажу масою  $m$  на висоту  $l_2$  (табл. 1.4). Побудувати залежності діаметра поршня від тиску  $D_2 = f(p)$  - варіанти 1...3; 4...6; 5...7 і 9...12, швидкості поршня від часу підйому вантажу  $v_2 = f(t)$  - варіанти 1...3; 4...6 і 7...9, витрати робочої рідини залежно від висоти підйому вантажу  $Q = f(l_2)$  - варіанти 10...12, вихідної потужності від швидкості підйому вантажу  $P = f(v_2)$  - варіанти 1...3; 4...6; 7...9 і 10...12.

Таблиця 1.4 – Розрахунок гідравлічного підйомника

Вар.	$m$ , кг	$F_2$ , Н	$F_1$ , Н	$p$ , МПа	$S_1$ , мм <sup>2</sup>	$D_1$ , мм		$S_2$ , мм <sup>2</sup>	$D_2$ , мм
1	1000		100	0,5					
2	1000		100	1,0					
3	1000		100	2,0					
4	5000		100	0,5					
5	5000		100	1,0					
6	5000		100	2,0					
7	25000		100	0,5					
8	25000		100	1,0					
9	25000		100	2,0					
10	60000		100	0,5					
11	60000		100	1,0					
12	60000		100	2,0					

Продовження табл. 1.4.

Вар.	$l_2$ , Мм	$t$ , с	$v_2$ , м/с	$Q$ , л/мин	$P_{\text{вих}}$ , кВт
1	1800	360			
2	1800	180			
3	1800	90			
4	1800	360			
5	1800	180			
6	1800	90			
7	2400	240			
8	2400	120			
9	2400	60			
10	2400	300			
11	2100	300			
12	1800	300			

Теоретична частина.

Як приклад використання на практиці закону Паскаля і рівняння нерозривності розглянемо гідравлічний підйомник, схема якого наведена на рис. 1.

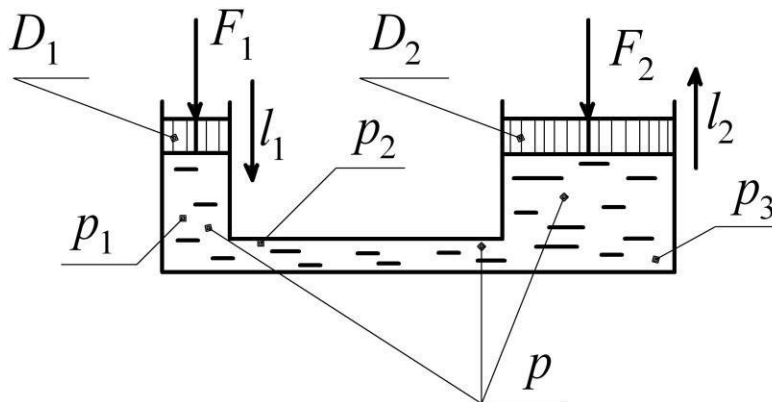


Рис. 1. Схема об'ємного гідропривода підйомника

Для підйому вантажу, що створює зусилля  $F_2$  на поршень, приводять в рух поршень малого діаметру  $D_1$  з зусиллям  $F_1$ . У зв'язку з рівністю тиску в усіх точках гідросистеми

$$p_1 = p_2 = p_3 = p = \text{const}, \quad (1)$$

запишемо наступні залежності

$$F_1 = p \cdot S_1, \text{ звідки } p = \frac{F_1}{S_1}; \text{ і } F_2 = p \cdot S_2, \text{ звідки } p = \frac{F_2}{S_2}, \quad (2)$$

на підставі яких одержимо співвідношення сил і площ

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \text{ і } \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}, \quad (3)$$

і шукане значення площі більшого поршня  $S_2$  діаметром, що забезпечує необхідне зусилля  $F_2$  при заданому зусиллі на малому поршні  $F_1$  і тиску в гідроприводі  $p$

$$S_2 = \frac{F_2 \cdot S_1}{F_1} = \frac{F_2}{p}, \text{ мм}^2, \text{ звідки } D_2 = 1,13\sqrt{S_2}, \text{ мм.}$$

$$S_1 = \frac{F_1}{p} \text{ мм}^2, \text{ звідки } D_1 = 1,13\sqrt{S_1}, \text{ мм.} \quad (4)$$

З рівняння нерозривності (4) виходить

$$Q = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 \text{ і } \frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}, \quad (5)$$

звідки одержуємо вираз

$$v_2 = \frac{v_1 \cdot S_1}{S_2}, \quad (6)$$

що показує, що із зменшенням співвідношення площ поршнів  $S_1 / S_2$  швидкість більшого поршня  $v_2$  також зменшується. Задаючись швидкістю поршня  $v_1$ , визначають швидкість переміщення поршня більшого діаметру  $D_2$ , або, задаючись необхідним часом  $t$  підйому вантажу  $F_2$ , визначають необхідну витрату РР.

Час підйому поршня  $D_2$  визначають за формулою

$$t = 10^{-3} \frac{l_2}{v_2}, \text{ с,} \quad (7)$$

де  $l_2$  – хід поршня, мм,

$v_2$  – швидкість поршня, м/с,

або при заданому часі  $t$  підйому вантажу  $F_2$  визначають необхідну швидкість руху поршня  $D_2$

$$v_2 = 10^{-3} \frac{l_2}{t}, \text{ м/с,} \quad (8)$$

і потрібну витрату РР (6)

$$Q = 0,06 \cdot v_2 \cdot S_2, \text{ л/хв,} \quad (9)$$

яка разом з тиском є основним параметром для вибору насоса приводу переміщення поршня  $D_1$ .

Зусилля, що розвиває підйомник, розраховують за формулою

$$F_2 = m \cdot g, \text{ Н,} \quad (10)$$

где  $m$  - маса вантажу, що піднімають кг,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - прискорення вільного падіння.

Вихідна потужність гідроциліндра

$$P_{\text{вих}} = 10^{-3} F_2 \cdot v_2, \text{ кВт.} \quad (11)$$

Для задачі роботи необхідно:

1. Виконати розрахунки та побудувати необхідні залежності;
2. Зробити висновки;
3. Знати основні розрахункові формули.

## Гідравліка, гідропневмопривод

### Лабораторна робота № 3 – Розрахунок і аналіз втрат тиску та витрати ро- бочної рідини при турбулентному режимі течії

Мета роботи - розрахувати значення втрат тиску і витрати ро- бочної рідини через опір і зробити аналіз про характер залежності перепаду тисків від витрати.

Завдання:

1. Визначити число Рейнольдса для різних умов течії РР в трубопроводі круглого перерізу (табл. 1.6) і встановити режим течії РР, прийнявши як критичне значення  $Re_{кр} = 2300$ ;
2. Визначити витрату РР через дросель круглого перерізу при різних значеннях заданих параметрів (табл. 1.7). Побудувати залежності зміни витрати РР від змінного параметра: варіанти 1...5 – від діаметру дроселя; варіанти 6...10 і 11...15 – від перепаду тисків;
3. Визначити перепад тисків, необхідний для пропуску витрати РР через дросель (табл. 1.8). Побудувати залежності перепаду тисків від діаметру дроселя для варіантів 1...4; 5...8 і 9...12;
4. Визначити швидкість течії РР і перепад тисків на дроселі (табл. 1.9). Побудувати залежності швидкості течії РР від діаметру дроселя при постійній витраті для варіантів 1...4; 5...8 і 9...12.

Таблиця 1.6 – Розрахунок режиму течії РР в трубопроводі круглого перетину

Вар.	$Q$ , л/хв	$d$ , мм	$v$ , м/с	$v_{в'язк}$ , мм <sup>2</sup> /с	Re	Режим течії РР
1	20	8		5		
2	20	8		20		
3	20	8		200		
4	20	8		500		
5	5	8		20		
6	20	8		20		
7	30	8		20		
8	50	8		20		
9	20	20		20		
10	20	10		20		
11	20	5		20		
12	20	3		20		

Таблиця 1.7 – Розрахунок витоків РР через дросель при турбулентному режимі

Варіант	$d_{др}$ , мм	$S_{др}$ , мм <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$	$\Delta p$ , МПа	$Q_{др}$ , л/хв
1	0,6		900	0,62	1,8	
2	0,7		900	0,62	1,8	
3	0,8		900	0,62	1,8	
4	0,9		900	0,62	1,8	
5	1,0		900	0,62	1,8	
6	0,8		900	0,62	2,0	
7	0,8		900	0,62	2,5	
8	0,8		900	0,62	3,0	
9	0,8		900	0,62	3,5	
10	0,8		900	0,62	4,0	
11	2,0		900	0,64	2,0	
12	2,0		900	0,64	6,0	
13	2,0		900	0,64	10,0	
14	2,0		900	0,64	14,0	
15	2,0		900	0,64	18,0	

Таблиця 1.8 – Розрахунок перепаду тисків при течії РР через дросель

Варіант	$d_{др}$ , мм	$Q_{др}$ , л/хв	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\xi$	$\Delta p$ , МПа
1	0,6	2	900		
2	0,8	2	900		
3	1,0	2	900		
4	1,2	2	900		
5	0,8	3	900		
6	1,0	3	900		
7	1,2	3	900		
8	1,4	3	900		
9	0,4	1,2	900		
10	0,6	1,2	900		
11	0,7	1,2	900		
12	0,8	1,2	900		

Таблиця 1.9 - Розрахунок швидкості течії РР і перепаду тисків на дроселі

Вар.	$d_{др}$ , мм	$Q_{др}$ , л/хв	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu$	$\xi$	$\Delta p_{м.с}$ , МПа	$v$ , м/с
1	0,6	1,5	900	0,64			
2	0,8	1,5	900	0,64			
3	1,0	1,5	900	0,64			
4	1,2	1,5	900	0,64			
5	0,8	0,8	900	0,64			
6	1,0	0,8	900	0,64			
7	1,2	0,8	900	0,64			
8	1,4	0,8	900	0,64			
9	0,4	2	900	0,64			
10	0,5	2	900	0,64			
11	0,6	2	900	0,64			
12	0,8	2	900	0,64			

### Теоретична частина

Режим течії РР є важливим чинником, що визначає втрати потужності в гідросистемі. Розрізняють два види течії РР – ламінарний і турбулентний. При ламінарній течії шари рідини рухаються паралельно стінкам трубопроводу і внутрішній шар рідини має максимальну швидкість, а зовнішній шар знаходиться в статичному стані біля стінок трубопроводу (рис. 1, а). При зростанні швидкості РР і досягненні її критичного значення потік змінюється і стає турбулентним (рис. 1, б). При турбулентному режимі течії збільшується опір потоку РР і гідравлічні втрати. Критична швидкість не є точно визначеною величиною, оскільки залежить від в'язкості РР, швидкості її течії і конфігурації каналу. Режим течії РР визначають за допомогою безрозмірного числа Рейнольдса

$$Re=10^3 \frac{v \cdot d_{\Gamma}}{v_{в'язк}}, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість течії РР, м/с

$d_{\Gamma}$  – гідравлічний діаметр, визначуваний за формулою

$$d_{\Gamma} = \frac{4S}{\Pi}, \text{ мм}, \quad (2)$$

$S$  – площа перерізу (наприклад, трубопроводу), мм<sup>2</sup>,

$\Pi$  – змочений периметр, мм,

$\nu_{\text{в'язк}}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості РР, мм<sup>2</sup>/с.

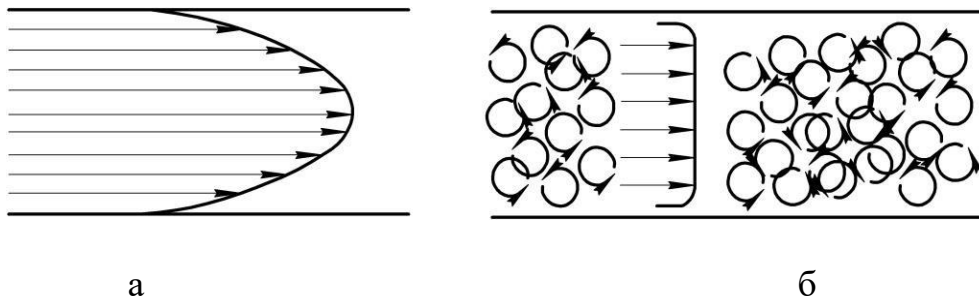


Рис. 1. Характер течії РР: а – ламінарний; б – турбулентний

Для циліндрових отворів і труб гідравлічний діаметр рівний діаметру отвору або труби

$$d_{\Gamma, \text{цил}} = \frac{4S}{\Pi} = \frac{4\pi \cdot d^2}{4\pi \cdot d} = d, \text{ мм}. \quad (3)$$

Для кільцевої циліндрової щілини гідравлічний діаметр набуває вигляду

$$d_{\Gamma, \text{к.щіл}} = \frac{4\pi \cdot d_{\text{середн}} \cdot h}{2\pi \cdot d_{\text{середн}}} = 2h, \text{ мм}, \quad (4)$$

де  $d_{\text{середн}}$  – середній діаметр кільцевої щілини, мм,

$h$  – ширина (висота) щілини, мм.

Для плоскої щілини гідравлічний діаметр має аналогічну форму запису

$$d_{\Gamma, \text{п.щіл}} = \frac{4h \cdot l}{2h + 2l} \approx 2h, \text{ мм}, \quad (5)$$

при допущенні про малу висоту щілини в порівнянні з її довжиною

$$h \ll l, \quad (6)$$

де  $h$  – висота щілини, мм,

$l$  – довжина щілини, мм.

Зміна режиму течії РР при критичному значенні числа  $Re$ :

– потік є ламінарним, якщо

$$Re < Re_{кр}; \quad (7)$$

– турбулентним, якщо

$$Re > Re_{кр}, \quad (8)$$

де  $Re_{кр}$  – критичне значення числа  $Re$ , яке від типу гідравлічного каналу знаходиться в межах

$$Re_{кр} = 20 \dots 2300, \quad (9)$$

причому для труб круглого перетину і гумових рукавів

$$Re_{кр} = 1600 \dots 2300, \quad (10)$$

гідравлічних щілин (зазорів), фільтрів, кранів розподільних і вікон золотникових гідророзподільників

$$Re_{кр} = 260 \dots 1100, \quad (11)$$

плоских і конічних клапанів

$$Re_{кр} = 20 \dots 100. \quad (12)$$

Для розрахунку числа Рейнольда значення коефіцієнта кінематичної в'язкості приймають за довідковими даними, а швидкість течії РР визначають за формулою

$$v = 21,2 \frac{Q}{d^2}, \text{ м/с}, \quad (13)$$

де  $Q$  – витрата, л/хв,

$d$  – діаметр трубопроводу, мм.

Розрахунок витрати і втрат тиску при течії РР через дросель при турбулентному режимі. Дроселем називається гідроапарат керування витратою, призначений для створення опору потокові РР. Застосовують нерегульовані (з постійним перерізом) і регульовані (зі змінним перерізом) дроселі. На рис. 2 наведена гідравлічна принципова схема установки для визначення втрат тиску і витрати через нерегульований дросель ДР типу «діафрагма», в корпусі якого 1 завдяки гострим кромкам дроселювального отвору 2 витрата практично не залежить від в'язкості РР. За допомогою приводного двигуна «М» насос Н нагнітає РР через дросель ДР і витратомір ВІ (РА) в гідробак Б. Захист від перевантажень забезпечується запобіжним клапаном КЗ (КП), вимірювання тиску забезпечує манометр МН1. Для створення змінного перерізу в регульованому дроселі знайшли розповсюдження голчаті дроселі, дроселі з канавками прямокутної і трикутної форми, щілисті дроселі, дроселі з кільцевою канавкою трикутної форми.

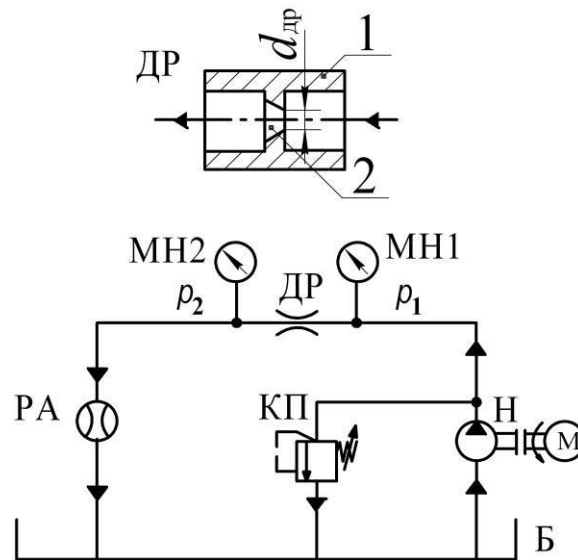


Рис. 2. Гідравлічна принципова схема стенду для вимірювання перепаду тисків на дроселі ДР при турбулентному режимі течії РР

Витрату через дросель при турбулентному режимі течії визначають за формулою

$$Q_{др} = \mu \cdot S_{др} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (14)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, безрозмірне чисельне значення якого знаходиться в діапазоні 0,6...0,7,

$S_{др}$  – площа перерізу дроселя,  $\text{м}^2$ ,

$\Delta p = p_1 - p_2$  – перепад тисків на дроселі (різниця тисків за показниками манометрів МН1 і МН2), Па,

$\rho$  – щільність РР, кг/м<sup>3</sup>,

або для поширеної розмірності витрати [л/хв] і звичайно малих перерізів дроселів [мм<sup>2</sup>]

$$Q_{др} = 60\mu \cdot S_{др} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ л/хв}, \quad (15)$$

де  $S_{др}$  – площа дроселя (для дроселя круглого перерізу діаметром  $d_{др}$  визначають за формулою  $S_{др} = \frac{\pi \cdot d_{др}^2}{4}$ ), мм<sup>2</sup>,

$\Delta p$  – перепад тисків на дроселі, МПа.

Втрати тиску на місцевих опорах при турбулентному режимі визначають за формулою Вейсбаха

$$\Delta p_{м.с} = 10^{-6} \cdot \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}, \text{ МПа}, \quad (16)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від конфігурації опору і визначається експериментальним шляхом (значення коефіцієнта місцевого опору наведені у відповідних довідниках за гідравлічними розрахунками),

$v$  – середня швидкість РР в перерізі, розташованому нижче за течією за даним опором, м/с,

$\rho$  – щільність РР, кг/м<sup>3</sup>.

Формулу (16) часто застосовують при використанні замість щільності питомої ваги РР

$$\Delta p = 10^{-6} \xi \frac{\gamma \cdot v^2}{2g}, \text{ МПа} \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м}^3 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па} \right], \quad (17)$$

де  $\gamma$  – питома вага РР, Н/м<sup>3</sup>,

$g = 9,81$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,

$\xi$  – коефіцієнт місцевих гідравлічних втрат, який рівний відношенню перепаду тисків на опорі до швидкісного напору і є безрозмірним

$$\xi = \frac{\Delta p}{\frac{\gamma \cdot v^2}{2g}}. \quad (18)$$

Між коефіцієнтами витрати і місцевих гідравлічних втрат існує така залежність

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \quad \text{або} \quad \xi = \frac{1}{\mu^2}. \quad (19)$$

Перепад тисків одержимо з формули (1.65)

$$\Delta p = \frac{\rho}{2 \cdot 60^2} \frac{Q_{др}^2}{\mu^2 \cdot S_{др}^2}, \quad \text{МПа}. \quad (20)$$

При використанні у формулі (16) замість швидкості витрати і діаметру опору одержимо

$$\Delta p_{м.с} = 0,225 \cdot 10^{-3} \cdot \xi \cdot \rho \cdot \frac{Q_{др}^2}{d_{др}^4}, \quad \text{МПа}, \quad (21)$$

у якій витрату РР визначають за формулою

$$Q_{др} = 0,047 \cdot v \cdot d_{др}^2, \quad \text{л/хв}. \quad (22)$$

Для розрахунку швидкості при відомих значеннях витрати РР і діаметру дроселя застосовують формулу (13)

$$v = 21,2 \frac{Q_{др}}{d_{др}^2}, \quad \text{м/с}, \quad (23)$$

де  $Q_{др}$  – витрата, л/хв, і  $d_{др}$  – діаметр дроселя, мм.

При здачі роботи студент пред'являє конспект з гідравлічною принциповою схемою стендової установки, необхідними розрахунками і графічними залежностями. У кінці роботи має бути зроблений висновок про характер залежності перепаду тиску від витрати робочої рідини. Студент повинен відповісти на питання викладача, пов'язані із застосуванням формул для розрахунку, розмірністю параметрів і отриманими графічними залежностями.

## Гідравліка, гідропневмопривод

### Лабораторна робота № 4 – Розрахунок і аналіз витоків робочої рідини при ламінарному режимі течії

Мета роботи: придбання навичок роботи з розрахунковими методиками при випробуваннях і дослідженнях об'ємного гідропривода.

Завдання:

1. Розрахувати виток РР в зазорах золотникових пар, плоскій щілині і поршневих парах шарик-втулка (табл. 1.10).
2. Розрахувати виток РР від перемінних параметрів (табл. 1.11), використовуючи необхідні вихідні дані з табл. 1.10 згідно з номерами варіантів: варіант 1 (табл. 1.10) – варіант 1 (табл. 1.11), варіант 2 (табл. 1.10) – варіант 2 (табл. 1.11) і т.д. Побудувати залежності зміни витоків від перемінних параметрів для кожного варіанта.

Таблиця 1.10 – Розрахунок витоків РР в зазорах гідропрістроїв

Варіант	$D$ , мм	$D_{щ}$ , мм	$h$ , мкм	$L_{щ}$ , мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\nu$ , мм <sup>2</sup> /с	$l$ , мм	$\Delta p$ , МПа	$k$	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв
1	10	-	10	5	900	30	-	25	1,75	
2	10	-	10	5	900	30	-	32	1,75	
3	20	-	20	10	900	10	-	25	1,75	
4	20	-	20	10	900	10	-	32	1,75	
5	50	-	30	10	900	10	-	25	2,5	
6	50	-	30	10	900	10	-	32	2,5	
7	-	-	40	10	900	5	20	25	1,0	
8	-	63,5	10	1,4	900	16	-	32	2,5	
9	-	63,5	20	1,4	900	16	-	32	2,5	
10	-	44,4	15	1,4	900	8	-	32	2,5	

Таблиця 1.1 – Розрахунок витоків РР в зазорах при перемінних параметрах (вхідні дані приведені в табл. 1.10)

Варіант	Перемінний параметр	Значення перемінних параметрів та результати розрахунку витоків РР						
		10	20	25	30	35	40	50
1	$h$ , мкм	10	20	25	30	35	40	50
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
2	$h$ , мкм	10	20	25	30	35	40	50
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
3	$h$ , мкм	5	10	20	30	35	40	50
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
4	$L_{\text{Щ}}$ , мм	3	5	7	10	12	14	16
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
5	$L_{\text{Щ}}$ , мм	3	5	10	15	20	25	30
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
6	$v$ , мм <sup>2</sup> /с	5	10	20	25	30	35	40
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
7	$v$ , мм <sup>2</sup> /с	5	20	38	60	80	100	200
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
8	$\Delta p$ , МПа	5	10	15	20	32	35	40
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
9	$\Delta p$ , МПа	5	10	15	20	32	35	40
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							
10	$\Delta p$ , МПа	5	10	15	20	32	35	40
	$Q_{\text{ВИТ}}$ , л/хв							

### Теоретична частина

Витоки при ламінарній течії РР в зазорах поршневих і золотникових пар гідропрстроїв приводять до зниження ККД об'ємного гідропривода. Основними чинниками, що впливають на витоки, є в'язкість РР, перепад тисків, периметр і довжина щілини ущільнювача, зазор між контртілами. Розглядаємо три конструктивні елементи, що зустрічаються на практиці:

1. Кільцева щілина. Гідравлічна принципова схема стенду для

вимірювання витоків РР (рис. 1) включає насос Н з двигуном «М» і випробуваний об'єкт ВО, в якому золотник 1 розміщений із зазором  $h$  в корпусі 2 і забезпечений упором 3. Для вимірювання витоків РР служить витратомір ВИ (РА).

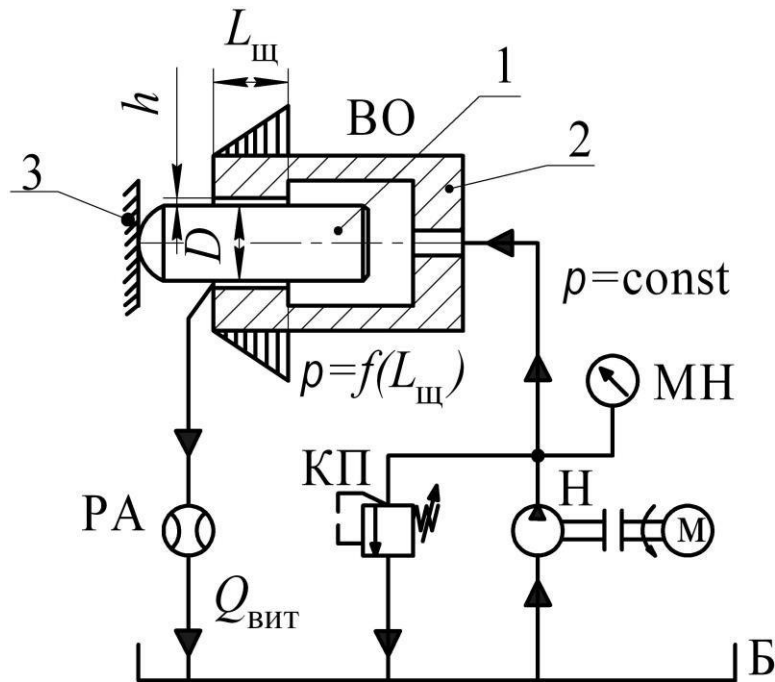


Рис. 1. Гідравлічна принципова схема стенду для вимірювання витоків РР через кільцеве ущільнення

Настройку тиску здійснюють запобіжним клапаном КЗ (КП), що працює в режимі переливного, скидаючи постійно надлишкову частину витрати РР насоса в гідробак Б. Для вимірювання тиску служить манометр МН. Витокі через кільцеве щільне ущільнення без урахування деформації стінок контртіл і допущенні про постійність в'язкості РР в зазорі при ламінарній течії визначають за формулою Гагена-Пуазейля

$$Q_{\text{ВИТ,кщ}} = 0,06 \frac{k \cdot \pi \cdot D \cdot h^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L_{\text{щ}}} \Delta p, \text{ л/хв}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт ексцентричності розташування золотника у втулці, що набуває значення:

$k = 1$  при концентричному розташуванні деталей;

$k = 2,5$  при максимальному ексцентриситеті між осями золотника і втулки;

$k = 1,75$  – середнє значення, що приймається зазвичай при розрахунках через невизначеність розташування золотника у втулці;

$D$  – діаметр золотника, мм,

$h$  – радіальний зазор між втулкою і золотником (напіввізниця їх діаметрів), вимірюваний в мікрометрах, мкм,

$L_{щ}$  – довжина щілини ущільнювача, мм,

$\Delta p$  – перепад тисків, МПа,

$\rho$  – щільність РР, кг/м<sup>3</sup>,

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості РР, мм<sup>2</sup>/с;

2. Витоки через плоску щілину визначають за формулою

$$Q_{\text{вит,щ}} = 0,06 \frac{1}{12} \frac{l \cdot h^3}{\rho \cdot \nu \cdot L_{щ}} \Delta p, \text{ л/хв}, \quad (2)$$

де  $l$  – ширина щілини, мм,

$L_{щ}$  – довжина щілини ущільнювача у напрямі потоку РР, мм,

$h$  – зазор, мкм;

3. Витоки через кільцевий зазор між шариком і циліндром визначають за формулою

$$Q_{\text{вит,ш-ц}} = 0,06 \frac{2,5 \pi \cdot D_{ш} \cdot h^3}{12 \rho \cdot \nu \cdot L_{щ}} \Delta p, \text{ л/хв}, \quad (3)$$

де  $D_{ш}$  – діаметр шарика, мм,

$L_{щ} = 1,4$  мм – довжина щілини у напрямі витоків, одержана в результаті обробки експериментальних даних,

$h$  – радіальний зазор між шариком і циліндром (напіввізниця їх діаметрів), мкм.

При здачі роботи студент пред'являє конспект з гідравлічною принциповою схемою стендової установки, необхідними розрахунками і графічними залежностями. Студент повинен відповісти на питання викладача, пов'язані із застосуванням формул для розрахунку, розмірністю параметрів і отриманими графічними залежностями.

## Перелік джерел інформації

1. Аврунін Г.А. Основи об'ємного гідропривода і гідропневмоавтоматики: (навчальний посібник) / (Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, І. І. Мороз); під ред. Г. А. Авруніна. – Харків. : ХНАДУ, 2009. – 424 с.
2. Аврунін Г.А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин: підручник / (Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов); під ред. Г. А. Авруніна. – Харків: ХНАДУ, 2016. – 438 с.
3. Гідроприводи об'ємні. Загальні правила застосування (ISO 4413:1998, IDT). – [Чинний с 2002-09-01]. ДСТУ ISO 4413:2002. – Київ : – 2005. – 34 с. – (Держспоживстандарт України).
4. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 1. Загальні поняття. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.1-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 48 с. – (Держспоживстандарт України).
5. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 2. Об'ємні гідромашини та пневмомашини. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.2-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 61 с. – (Держспоживстандарт України).
6. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 3. Гідроапарати та пневмоапарати. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.3-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 36 с. – (Держспоживстандарт України).
7. Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 4. Кондиціонери робочого середовища, гідропосудини та пневмопосудини, гідропроводи та пневмопроводи. Терміни та визначення (ДСТУ 3455.2-96). – [Чинний від 1998-01-01]. – 30 с. – (Держспоживстандарт України).
8. Гидропривод объемный. Методы измерения параметров (ГОСТ 17108-79). – [Введен с 1988-01-01]. – 15 с – (Межгосударственный стандарт).
9. Гидроприводы объемные. Общие технические требования (ГОСТ 17411-91). – [Введен с 1992-01-01]. – М. : Стандартинформ, 2006. – 3 с. – (Межгосударственный стандарт).

10. Гидропривод. Основы и компоненты. Учебный курс по гидравлике, том № 1, заказной номер – RRS, издание 3.1. 2003 г. Издание 2 (на русском языке), Издатель: Бош Рекрот АГ Сервис Автоматизация Дидактика 64711, г. Эрбах, Германия. – 322 с.

11. Лурье З.Я. Сравнительный анализ схем гидроприводов с дроссельным управлением по эксплуатационным показателям // Промислова гідравліка і пневматика / З. Я. Лурье, И. А. Чекмасова – 2007. – №4(18). – С. 62–65.

12. Насосы объемных гидроприводов. Правила приемки и методы испытаний (ГОСТ 14658). – [Введен 1988-01-01]. – 13 с. (Межгосударственный стандарт).

13. Axial Piston Pump Animation (відеофільм).

14. Bent-axis hydraulic motor animation and exploded view (відеофільм).

15. Closed Center Valve (відеофільм).

16. H1DR11.AVI (mp4) фірми «Festo Didactic» (відеофільм).

17. Hidravlica I Pneumatika 07 Razvodnici 02 (відеофільм).

18. Hydrostatic Transmission (відеофільм).

19. Pressure Relief Valve (відеофільм).

20. Schragachsenmaschine-bent-axis (axial piston) pump (відеофільм).

21. Принцип роботи тракторної гідравліки (відеофільм).

Навчальне видання

Методичні вказівки

до вивчення дисципліни  
«Гідравліка, гідропневмопривод». Частина 2 – «Гідропневмопривод»  
(лабораторні роботи)

Українською мовою

Укладачі: Аврунін Григорій Аврамович  
Пімонов Ігор Георгійович

Відповідальний за випуск доцент Шербак О.В..

В авторській редакції

Підп. до друку \_01.10.2022 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman Cyr . Ум. друк. арк. 3,75

Замовлення Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна

---

Віддруковано  
Свідоцтво