

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський національний технологічний університет

# **ГІДРАВЛІКА ТА ГІДРОПРИВОДИ**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання розрахунково-графічної роботи  
для студентів спеціальностей  
133 Галузеве машинобудування,  
131 Прикладна механіка, 274 Автомобільний транспорт

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Автомобільного транспорту  
та галузевого  
машинобудування»  
Протокол №2  
від 03.09.2019 р.

Чернігів ЧНТУ 2019

Гідравліка та гідроприводи. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів спеціальностей 133 Галузеве машинобудування, 131 Прикладна механіка, 274 Автомобільний транспорт / Укл.: Кальченко В.В., Сіра Н.М., Следнікова О.С. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 41 с.

Укладачі:

Кальченко Володимир Віталійович,

доктор технічних наук, професор

Сіра Наталія Миколаївна,

кандидат технічних наук,

Следнікова Олена Сергіївна,

кандидат технічних наук

Відповідальний за випуск:

Кальченко В.І., завідувач кафедри

автомобільного транспорту

та галузевого машинобудування,

доктор технічних наук, професор

Рецензент:

Бойко С.В., кандидат технічних наук,

доцент кафедри технології машинобудування

та деревообробки

Чернігівського національного

технологічного університету

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
1. Аналіз принципової схеми гідروприводу .....	5
2. Функціональні циклограми і гідрокінематичні ланцюги .....	7
3. Рекомендації з вибору даних для розрахунку гідроприводу .....	11
4. Алгоритм розрахунку гідроприводу із гідроциліндром .....	17
ДОДАТКИ .....	26
Додаток А .....	26
Додаток Б .....	23
Додаток В .....	24
Додаток Г .....	25
Додаток Д .....	28
Рекомендована література .....	37

## ВСТУП

Методичні вказівки до розрахунково-графічних робіт призначені для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями 133 Галузеве машинобудування та 131 Прикладна механіка.

Дисципліни «Гідравліка та приводи мехатронних систем» та «Гідравліка, гідро- та пневмоприводи» відносяться до циклу професійної підготовки.

Мета розрахунково-графічної роботи – підготувати студентів до самостійного вирішення інженерних задач з розрахунку та проектування гідроприводу.

Зміст розрахунково-графічної роботи повинен включати:

1. Вибір даних для розрахунку відповідно прийнятої методики.
2. Принципові схеми з дросельним та об'ємним регулюванням (формат А4).
3. Аналіз принципової схеми гідроприводу відповідно вибраного варіанту.
4. Функціональні циклограми та гідрокінематичні ланцюги для принципових схем.
5. Опис переваг та недоліків вибраного за варіантом гідроприводу.
6. Алгоритм розрахунку гідроприводу.
7. Перелік елементів принципових схем гідроприводу (формат А4, додаток В).
8. Креслення із специфікаціями вибраних гідроциліндра (формат А3) та ущільнення поршня і штока (формат А4).

Основні параметри гідроприводу: номінальні значення тиску і витрати, а також загальний ККД гідроприводу студент визначає у процесі виконання розрахунково-графічної роботи виходячи з аналізу розрахункових варіантів та відповідно до вимог державних стандартів.

## 1. АНАЛІЗ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ГІДРОПРИВОДУ

Гідравлічний привод ефективно застосовувати при необхідності створення автономного енергозабезпечення машин і механізмів; швидкодії та точного керування швидкістю або положенням робочих органів машин; зворотнопоступальних або поворотних рухів змінної величини; при заданих обмеженнях маси або габаритних розмірів привода із необхідністю забезпечення надійного захисту механізму привода від перенавантажень.

Гідравлічні приводи знайшли широке застосування для здійснення руху робочих органів різних машин. У машинобудуванні гідравлічні приводи застосовують в системах автоматичного керування металорізальних верстатів і автоматичних ліній, роботів-маніпуляторів, пресів, технологічних машин в металургійній, харчовій, хімічній, легкій та інших галузях промисловості. Крім того, об'ємний гідропривод використовують в сільськогосподарських, будівельних, транспортних машинах, свердловинних установках, літаках, військовій техніці тощо. Область застосування гідроприводів розширюється із освоєнням промисловістю виробництва гідроустаткування та створення нових конструкцій гідромашин і гідроапаратури.

Для аналізу роботи гідроприводу необхідно знати його принципову схему, умови роботи, марку робочої рідини і навантаження.

Режим роботи гідроприводу характеризується видом навантаження і циклограмою робочих рухів машини, що показує час безперервної роботи, число пусків, зупинок і реверсів гідродвигунів в одиницю часу, закони регулювання швидкості, тиску і витрати. Тривалість режиму роботи із навантаженням обмежується температурою робочої рідини, яка, згідно із паспортними даними на гідромашини об'ємного типу, не повинна перевищувати 50...70°C.

Принципову схему гідроприводу з використанням засобів гідравтоматички креслять відповідно до ДСТУ ISO 1219-1:2014, ГОСТ 2.411-72, ДСТУ Б А.2.4-1:2009, ДСТУ Б А.2.4-8:2009, ДСТУ ГОСТ 2.704:2014, ГОСТ 2.701-84. Приклади складання такої схеми приведені в додатку А.

Терміни і визначення основних елементів гідроприводу, ліній і апаратів приведені в ДСТУ ГОСТ 2.704:2014, ДСТУ 4611:2006, ДСТУ 2192-93 (ГОСТ 13823-93).

Параметри і тип гідроапаратури визначають після остаточного розрахунку і заносять до переліку елементів гідроприводу (додаток Б). Типорозмір і параметри гідроапаратури вибирають із [11] або інших джерел.

Загальні відомості про гідропривід, загальний баланс енергії та переваги і недоліки гідроприводу та обраної схеми зокрема описують за [2-7; 8-11] або відповідно до вимог конкретного виробництва.

## 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЦИКЛОГРАМИ І ГІДРОКІНЕМАТИЧНІ ЛАНЦЮГИ

Високий рівень розвитку техніки в народному господарстві ставить перед проектувальниками і технічними службами заводів нові більш складні задачі із забезпечення надійності гідрофікованого устаткування.

Так, у автоматизованих металорізальних верстатах, як правило, ускладнена гідравлічна схема. Тому велика увага приділяється питанню діагностики несправностей систем гідроавтоматики.

Для опису та аналізу складних гідравлічних схем розроблений *метод функціональних циклограм*. Функціональна циклограма представляє собою таблицю, де коротко за допомогою простих умовних позначень описується повна робота схеми. Робочі позиції розподільника в таблиці позначають літерами (наприклад, для *трипозиційного розподільника, розташованого горизонтально*, прийняті наступні умовні позначення позицій: Л – ліва, С – середня, П – права; для *двохпозиційного розподільника, розташованого вертикально*: В – верхня, Н – нижня).

На рис. 2.1 приведена схема трипозиційного розподільника.

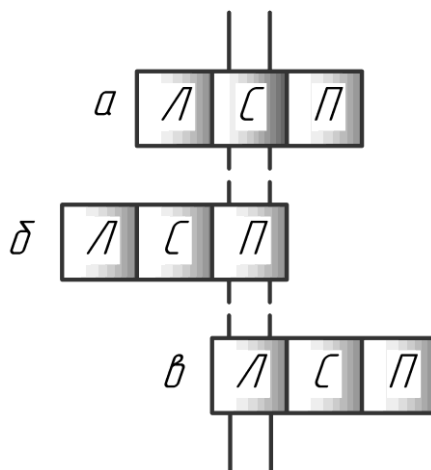


Рисунок 2.1 – Схема трипозиційного розподільника:

***а*** – початкова (середня) позиція (*С*); ***б*** – права робоча позиція (*П*);

***в*** – ліва робоча позиція (*Л*)

Повільне переміщення гідравлічних золотників позначається стрілкою, спрямованою у відповідну сторону (↑, ↓, →, ←). Ці ж знаки можна використо-

вувати для позначення руху гідравлічних циліндрів, виконавчих органів, столів і т.д.

Проаналізуємо роботу гідравлічної схеми (додаток А), яка забезпечує зворотно-поступальний рух штока циліндра за допомогою функціональної циклограми, приведеної в табл. 2.1.

*Таблиця 2.1 – Функціональна циклограма роботи гідравлічної схеми*

Елемент циклу	Номер положення	Золотник керування	
		<i>P1</i>	<i>P2</i>
Вихідне положення – розвантаження насоса	I	C	B
Швидкий рух штока циліндра вліво	II	L	H
Повільний рух штока циліндра вліво (робоча подача)	III	L	B
Рух штока циліндра вправо	IV	P	H

З першого рядка циклограми видно, що золотники керування знаходяться в наступних позиціях: золотник розподільника *P1* – у середній (*C*), золотник розподільника *P2* – у верхній (*B*) із знеструмленим електромагнітом. У цьому випадку робоча рідина від насоса через розподільник *P1* буде надходити на злив у бак *B1*.

*Швидкий рух штока циліндра вліво* (другий рядок циклограми) відбувається після зміщення золотників *P1* у ліву робочу позицію (*L*) та *P2* – у верхню (*B*). Рідина в цьому випадку надходить в праву порожнину циліндра *Ц1* і відбувається швидке переміщення його штока вліво.

*Повільний рух штока циліндра вліво (робоча подача)* (третій рядок циклограми) відбувається після зміщення золотника *P2* у нижню (*H*) робочу позицію. В цьому випадку рідина на злив буде надходити тільки через дросель з регулятором швидкості *A1*.

*Рух штока циліндра вправо* (четвертий рядок циклограми) відбувається після переміщення золотника *P1* у праву (*P*) робочу позицію.

Для позначення насосів, гідродвигунів, контрольно-регулюючої та керуючої апаратури застосовуються наступна обов'язкова індексація:



– насоси (Н): НШ – шестеренний, НЛ – лопастний, НА – аксіально-поршневий, НР – радіально-поршений, НП – пластинчастий та ін.;

– гідромотори (М): МП – пластинчастий, МА – аксіально-поршневий, МР – радіально-поршневий;

– гідроциліндри (Ц): ЦП – поршневий, ЦО – одноштоковий; ЦД – двохштоковий, ЦТ – телескопічний;

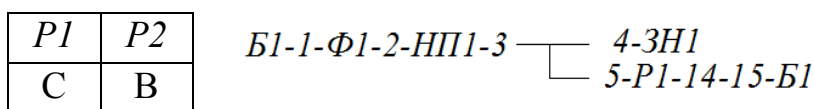
– контрольна-регулююча апаратура: КП – клапан запобіжний, КО – клапан зворотний, КР – клапан редуційний; РД – реле тиску; РВ – реле витримки часу, ДР – дросель, ЗН – золотник напірний, ЗК – золотник напірний зі зворотним клапаном, ЗТ – золотник гальмівний;

– розподільна гідроапаратура: Р – розподільник, К – клапан, РП – регулятор потоку, А – апарат;

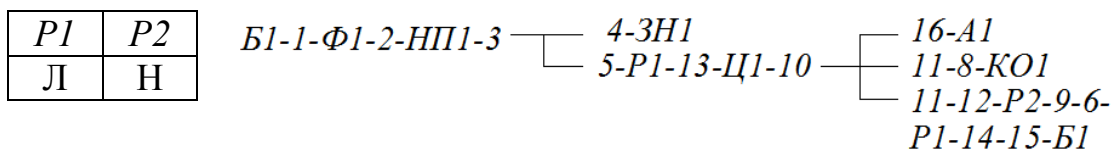
– гідроаккумулятори, фільтри, гідробаки: АК – гідроаккумулятор, Ф – фільтри магістральні (лінійні), ФВ – фільтри всмоктувальні (приймальні), Б – гідробак.

Відповідно до приведених умовних позначень апаратів елементів гідро-систем, а також ДСТУ ISO 1219-1:2014, ДСТУ Б А.2.4-1:2009, ДСТУ Б А.2.4-8:2009, ДСТУ ГОСТ 2.704:2014 гідрокінематичні ланцюги руху робочої рідини для приведеної схеми (додаток А) запишемо наступним чином:

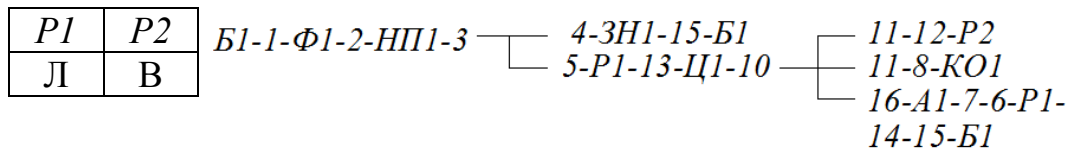
I. Вихідне положення – розвантаження насоса:



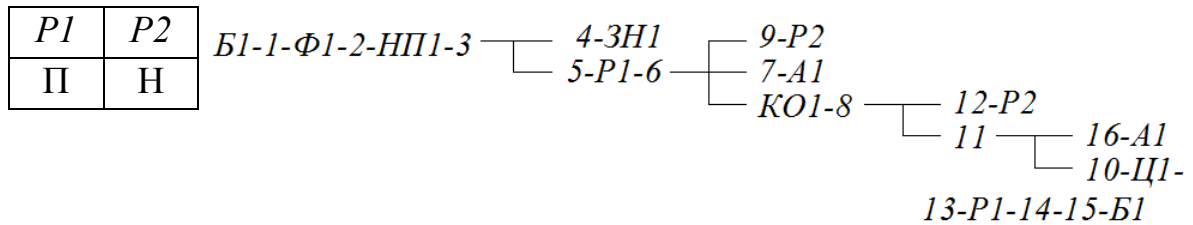
II. Швидкий рух штока циліндра вліво:



III. Повільний рух штока циліндра вліво (робоча подача):



IV. Рух штока циліндра вправо:



В такому вигляді необхідно записати принцип дії гідроприводу для обраного варіанту завдання.

### 3. РЕКОМЕНДАЦІ З ВИБОРУ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ГІДРОПРИВОДУ

Дані для розрахунку гідроприводу необхідно вибирати з додатку В (таблиця В.1). Кожне завдання повинно містити принципові розрахункові схеми для гідроциліндрів із дросельним (рис. 3.1, а) і об'ємним (рис. 3.1, б) регулюванням.

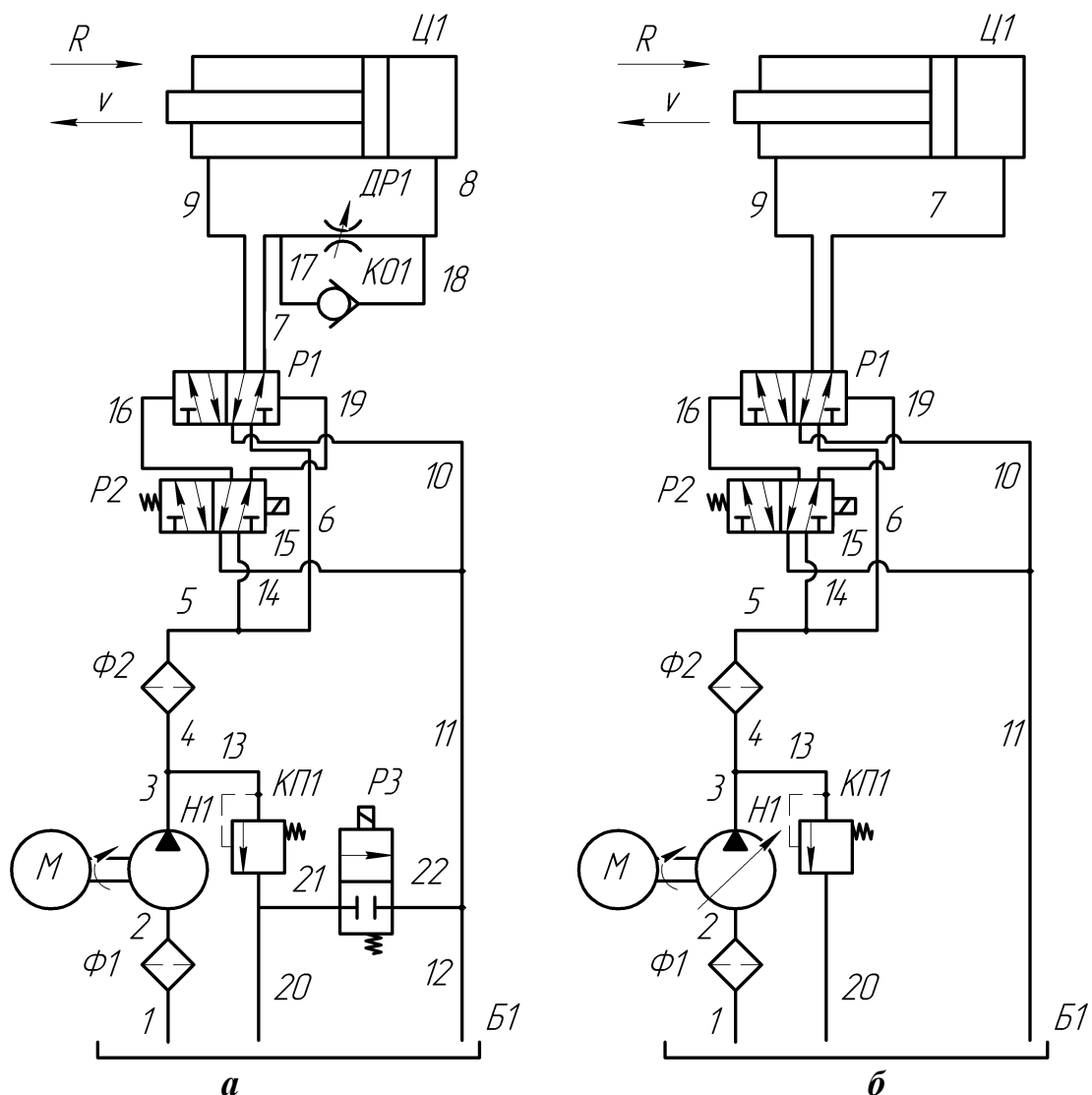


Рисунок 3.1 – Схеми регулювання гідроприводу:

а – дросельне; б – об'ємне

Дані із таблиці В.1 вибирають в залежності від перших літер імені, по батькові і всіх літер прізвища (для вибору необхідної кількості даних короткі прізвища повторюються).

Наприклад, для студента І.В. Коваленко із таблиці В.1 (Додаток В) будуть вибрані дані, приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Приклад вибору даних до завдання

Варіанти схеми	Навантаження $R$ , кН	Швидкість $v$ , м/с	Довжина штока, $L$ , м	Температура $t$ , °С	Довжина трубопроводів, м															
					$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$l_7$	$l_8$	$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$	$l_{12}$	$l_{13}$	$l_{14}$	$l_{15}$	$l_{16}$
9	17	0,10	1,0	70	4	6	13	12	9	15	11	9	12	13	15	4	9	18	10	20
<b>І</b>	<b>В</b>	<b>К</b>	<b>о</b>	<b>в</b>	<b>а</b>	<b>л</b>	<b>е</b>	<b>н</b>	<b>к</b>	<b>о</b>	<b>К</b>	<b>о</b>	<b>в</b>	<b>а</b>	<b>л</b>	<b>е</b>	<b>н</b>	<b>к</b>	<b>о</b>	<b>К</b>

Для студента І.В. Коваленко викладач задав варіант схеми, приведеної на рис. 3.1.

По обраному варіанту для схем із дросельним і об'ємним регулюванням (рис. 3.1) визначають гідролінії:

- всмоктувальні: для дросельного і об'ємного регулювання – трубопроводи 1, 2;
- нагнітаючі: для дросельного регулювання – трубопроводи 3, 4, 5, 6, 7, 8; для об'ємного регулювання – трубопроводи 3, 4, 5, 6, 7;
- зливальні: для дросельного регулювання – трубопроводи 19, 10, 11, 12; для об'ємного – трубопроводи 9, 10, 11;
- інші трубопроводи для обох видів регулювання – трубопроводи 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22.

Розрахунок трубопроводів і вибір приєднувальної арматури вибирають на підставі рекомендацій, приведених у [8, с. 337-351; 1, с. 27-101; 10, с. 14-25; 2, с. 118-133, 6] та даних методичних вказівок.

З умов компоновання гідроциліндра для заданого навантаження  $R$  на штоку гідроциліндра (додаток Д, таблиця Д.1) необхідно вибрати орієнтовні значення тиску  $p$  у поршневій порожнині циліндра, ефективної площі  $S$  поршня і внутрішнього діаметра  $D_u$ . Для двохштокового циліндра  $D_u$  визначають за виразом (3.1):

$$D_u = \sqrt{\frac{4S}{\pi} + d_{ш}^2} \text{ , м} \quad (3.1)$$

де  $d_{ш}^2$  – діаметр штока, вибирають по номограмі (рис. 3.2) в залежності від ходу штока і навантаження на нього [9, с. 62].

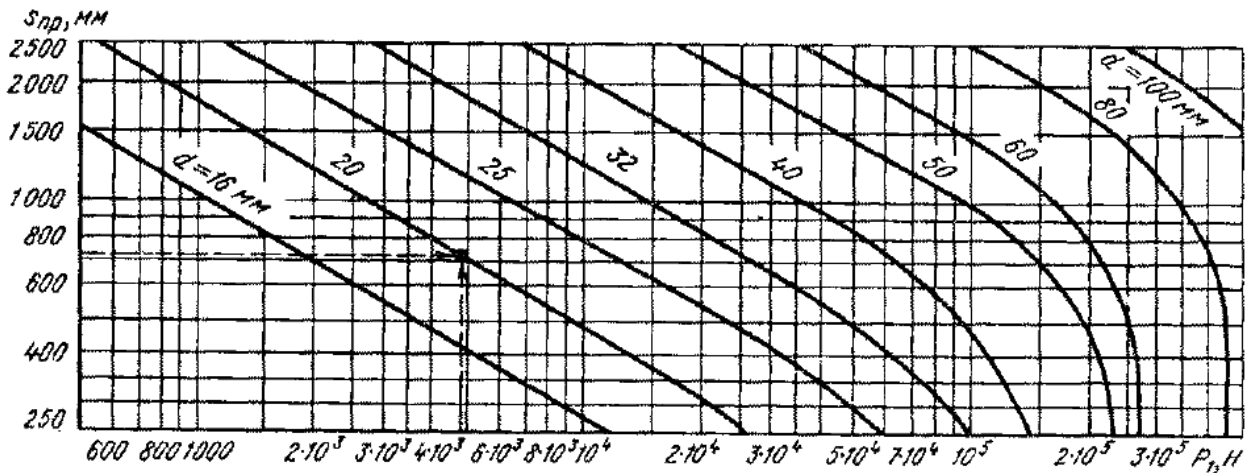


Рисунок 3.2 – Номограма для визначення діаметру штока

Якщо в таблиці Д.1 (додаток Д) відсутнє значення навантаження  $R$ , то для розрахунків вибирають найближче більше значення, яке відрізняється не більше ніж на 2% від заданого в завданні.

Для приведенного вище варіанта при  $R = 17 \cdot 10^3$  Н (1733,5 кгс) із таблиці Д.1 (додаток Д) вибираємо  $R = 1759$  кгс =  $17,25 \cdot 10^3$  Н. Перевіряємо, щоб вибране значення навантаження не  $R$  перевищувало 2%:  $100\% - \frac{1733,5 \cdot 100\%}{1759} = 1,45\%$ .

Отже, вибране значення  $R = 17,25 \cdot 10^3$  Н задовольняє умову.

Далі по вибраному навантаженню  $R = 1759$  кгс із таблиці Д.1 (додаток Д) вибираємо  $p = 35$  кГ/см<sup>2</sup> = 3,5 МПа;  $S = 50,27 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $D_{ц} = 0,08$  м.

Виходячи із конструктивних міркувань між довжиною ходу  $s$  штока і діаметром циліндра  $D_{ц}$  із таблиці 3.2 [8, с. 63] вибираються остаточні значення  $D_{ц}$  та  $d_{ш}$ .

Таблиця 3.2 – Рекомендовані співвідношення між довжиною ходу  $s$  штока і діаметром  $D_{ц}$  циліндра

$D_{ц}$ , мм	$s$ , мм								
	200	400	630	800	1000	1250	1600	2000	
45									
55				Область нестійкого руху					
63									
80									
90				Перехідна область					
110									
125									
160	Область стійкого руху								
180									
200									
250									

При  $L = 1$  м і  $D_{ц} = 0,08$  м потрапляємо в перехідну область руху (таблиця 3.2), тому вибираємо остаточно  $D_{ц} = 0,1$  м і уточнюємо вибране значення із **нормальними діаметрами деталей** [8, с. 8] рухомих ущільнюючих циліндричних пар (поршні, плунжери, штоки, золотники) мм: 1; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; (14); 16; (18); 20; (22); 25; (28); 32; (36); 40; (45); 50; (56); 63; (70); 80; (90); 100; (110); 125; (140); 160; (180); 200; (220); 250; (280); 320; (360); 400; (450); 500; (560); 630; (710); 800; (900); 1000.

Із рис. 3.2 по  $L = 1$  м і  $R = 17,25 \cdot 10^3$  Н вибираємо  $d_{щ} = 0,04$  м (остаточне значення уточнюємо за нормальними діаметрами деталей рухомих ущільнюючих циліндричних пар, приведених вище).

Конструктивні особливості і основні параметри циліндрів приведені в [7, с. 46-58; 8, с. 75-80]. Після остаточного вибору циліндра необхідно привести його розшифровку, як показано в [8, с.68] (ОСТ 2М2-1-73).

Основні характеристики мастил, які використовуються у гідроприводах, наведені в [8, таблиця 1, с. 10-11], а їх застосування в різних видах устаткування – в [1, таблиця 8, с.18].

Кінематичну в'язкість мастила при підвищенні температури до значення  $t$  можна визначити за (3.2):

$$v_t = v_{50} \cdot \left(\frac{50}{t}\right)^n, \quad (3.2)$$

де  $v_{50}$  – кінематична в'язкість мастила при температурі 50°C;

$n$  – показник степені (визначають за графіком, приведеним на рис. 3.3 [1, с. 10]).

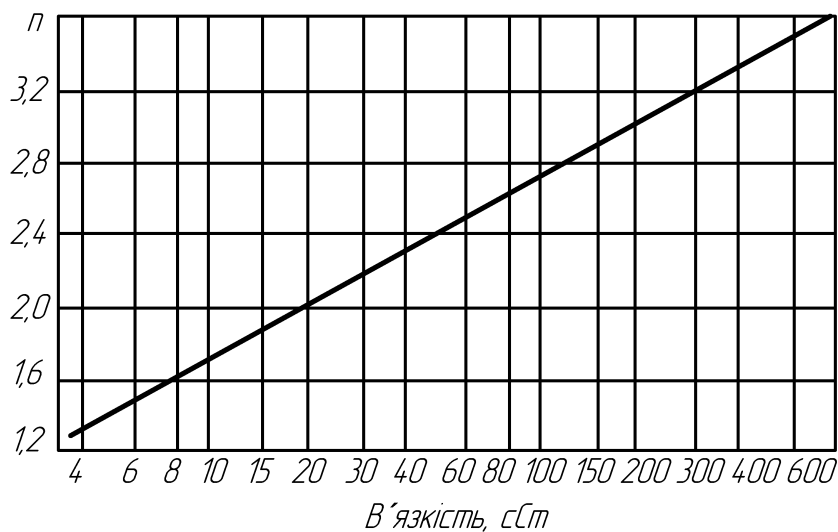


Рисунок 3.3 – Залежність показника степені  $n$  від кінематичної в'язкості при 50°C

Для робочої рідини марки І30А приймаємо  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $n = 2,2$ .

Орієнтовну швидкість руху рідини, прийняту в практиці проектування та експлуатації і гідроприводів, визначають із таблиці 3.3 [1, с. 27].

Таблиця 3.3 – Орієнтовні значення максимальних швидкостей потоку мастила

Магістраль	$v_{max}$ , м/с
Всмоктувальна	1,2
Зливна	2
Нагнітаюча при тисках, кг/см <sup>2</sup> :	
< 25	3
< 50	4
< 100	5
> 150	8-10

Із таблиці 3.3 приймаємо швидкість рідини в зливній магістралі  $v_{зл} = 2$  м/с, у всмоктувальній –  $v_{вс} = 1,2$  м/с, у нагнітаючій –  $v_{н} = 4$  м/с.

Геометричні розміри ущільнення поршня і штока, контактний тиск манжет, що ущільнюють, коефіцієнт тертя гуми і метала визначають із [8, с.320-330].

На підставі рекомендацій [8, с. 329] для діаметрів циліндра  $D_{ц} = 0,1$  м і штока  $d_{ш} = 0,04$  м вибираємо: ширину манжети поршня  $H_n = 0,01$  м, штока  $H_{ш} = 0,01$  м; значення контактного тиску, який виникає при монтажі манжети  $p_k = 2 \dots 5$  МПа, вибираємо  $p_k = 3$  МПа; коефіцієнт тертя  $\mu = 0,1 \dots 0,13$ , вибираємо  $\mu = 0,1$ ; кількість манжет поршня  $i_n = 2$ , штока  $i_{ш} = 3$ . Після вибору ущільнення необхідно накреслити один із видів ущільнення поршня, штока або вала.



#### 4. АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ГІДРОПРИВОДУ ІЗ ГІДРОЦИЛІНДРОМ

Приведемо деякі рекомендації по визначенню втрат тиску в гідроапаратах: якщо на зливі встановлений золотник напірний ЗН (рис. 4.1, а), то втратами тиску ( $p_2 - p_0$ ) задаємося в межах 0,3...0,5 МПа; якщо в гідролінію включено дросель з регулятором потоку РПІ (рис. 4.1, б) та з умови максимуму потужності, що віддається дросельним пристроєм, втрати тиску на апараті визначаються

із співвідношення  $p_2 = \frac{3}{2} p_{ЗН}$ , де  $p_{ЗН} = 0,3...0,5$  МПа, або із

$p_3 = \frac{3}{2} p_2$  (рис. 4.1, в), де  $p_2 - p_1 = \Delta p_{др} = 0,2$  МПа.

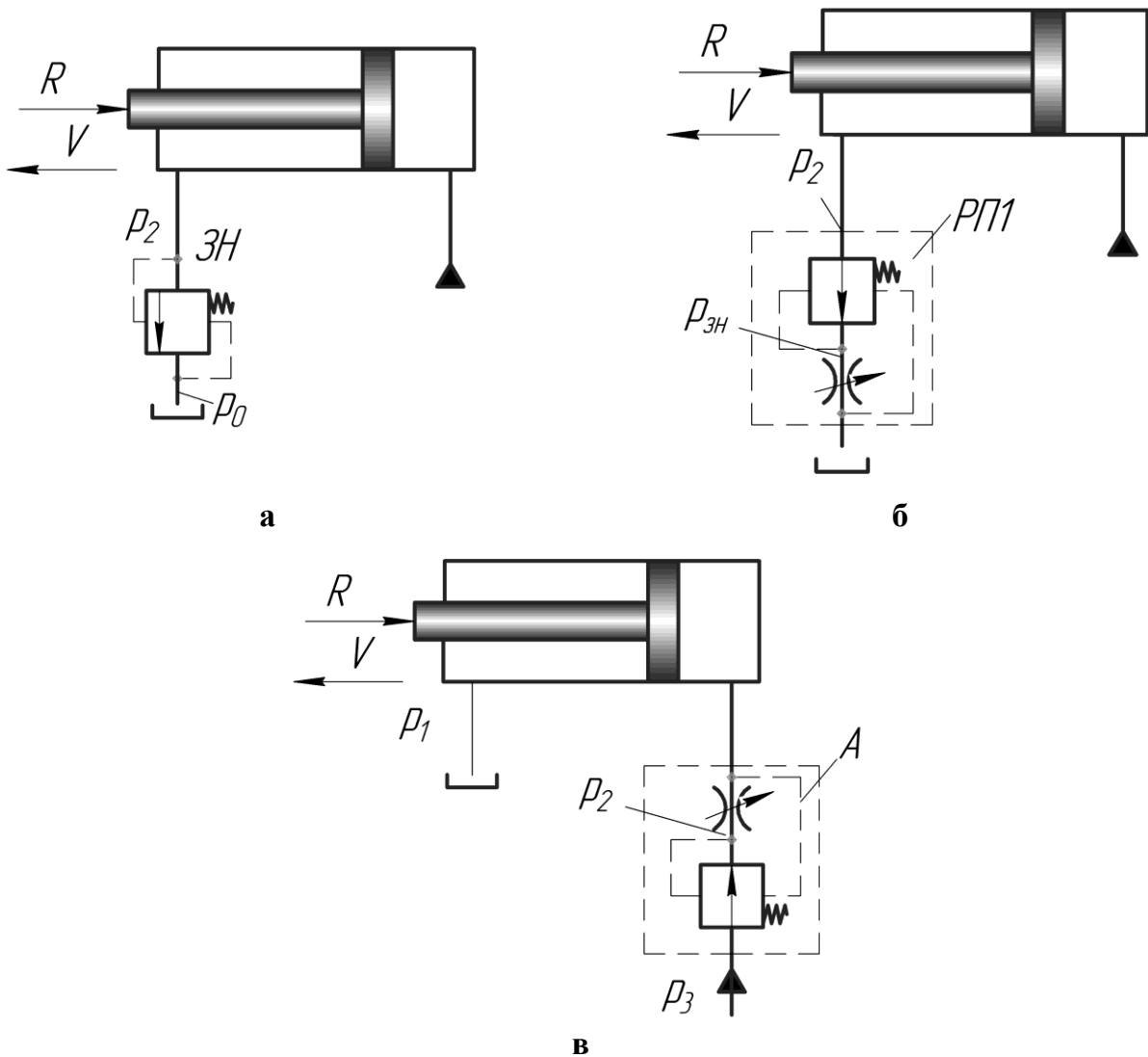


Рисунок 4.1 – Приклади включення гідроапаратури:

а – золотника напірного у зливну лінію; б – регулятора потоку у напірну лінію;

в – регулятора потоку у напірну лінію

Приклад розрахунку проводиться за схемою, приведеною на рис. 3.1.

**Перший вид регулювання – дросельний** (рис. 3.1, а).

**1.1.** Кінематична в'язкість рідини ІЗОА при заданій температурі:

$$v_t = v_{50} \cdot \left(\frac{50}{t}\right)^n = 30 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{50}{70}\right)^{2,2} = 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

**1.2.** Втрати тиску в зливній магістралі:

$$p_2 = \Delta p_{\text{тр}\cdot\text{зл}} + \Delta p_{\text{зл}} = \lambda_{\text{зл}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^i l_{i\cdot\text{зл}}}{d_{\text{зл}}} \cdot \frac{\rho \cdot v_{\text{зл}}^2}{2} + \Delta p_{\text{зл}},$$

де  $\sum_{l=1}^i l_{i\cdot\text{зл}} = l_9 + l_{10} + l_{11} + l_{12}$  – суми довжин зливних трубопроводів для

дросельного регулювання;

$\sum_{l=1}^i l_{i\cdot\text{зл}} = l_9 + l_{10} + l_{11}$  – для об'ємного регулювання.

**1.2.1.** Витрата рідини зі штокової порожнини:

$$Q_2 = v \cdot \frac{\pi \cdot (D_y^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} = 0,10 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,1^2 - 0,04^2)}{4} = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

**1.2.2.** Діаметр зливного трубопроводу:

$$d_{\text{зл}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_2}{v_{\text{зл}} \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14}} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

З нормалізованого ряду (ДСТ 9567-75), приведенного нижче, вибирають найближче більше значення  $d_{\text{зл}}$ .

Номінальні діаметри трубопроводів, м: 0,008; 0,01; 0,012; 0,014; 0,016; 0,018; 0,02; 0,022; 0,024; 0,026; 0,028; 0,03; 0,032.

Отже, остаточно приймаємо  $d_{\text{зл}} = 0,022$  м.

**1.2.3.** Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_{\text{зл}} \cdot d_{\text{зл}}}{v_t} = \frac{2 \cdot 0,022}{14,3 \cdot 10^{-6}} = 2937,1.$$

#### 1.2.4. Коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\text{при } Re < 2300 \quad \lambda_{зл} = \frac{75}{Re};$$

$$\text{при } Re \geq 2300 \quad \lambda_{зл} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{2937,1}} = 0,043.$$

#### 1.2.5. Втрати тиску на розподільнику:

$$\Delta p_{p \cdot зл} = \Delta p_{p \cdot ном} \cdot \left( \frac{Q_2}{Q_{ном}} \right)^2.$$

З нормалізованого ряду розподільників типів Г72-1 і Г72-2 вибираємо  $Q_{ном} \geq Q_2$  (до найближчого більшого значення) і  $\Delta p_{p \cdot ном}$  – за даними таблиці 4.1 або із [7, с. 67-107].

Таблиця 4.1 – Втрати тиску в розподільниках

Тип розподільника	Г72-21	Г72-22	Г72-13	Г72-14	Г72-16
Найбільша витрата, $Q_{ном}, \text{ м}^3/\text{с}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$11,66 \cdot 10^{-4}$	$23,33 \cdot 10^{-4}$
Втрати тиску, $\Delta p_{p \cdot ном}, \text{ Н/м}^2$	$2,45 \cdot 10^5$	$2,45 \cdot 10^5$	$2,45 \cdot 10^5$	$2,45 \cdot 10^5$	$1,47 \cdot 10^5$

Примітка. Номінальний тиск розподільника  $p_{ном} = 20$  МПа.

Вибір розподільника Г72-13 є попереднім. Остаточню його вибирають після розрахунку втрат тиску в магістралі нагнітання.

Розрахуємо втрати тиску на розподільнику Г72-14:

$$\Delta p_{p \cdot зл} = 2,45 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{0,66 \cdot 10^{-3}}{5,83 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = 3,14 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

#### 1.2.6. Втрати тиску в зливній магістралі:

$$\begin{aligned} p_2 &= \lambda_{зл} \cdot \sum_l \frac{l}{d_{зл}} \cdot \frac{\rho \cdot v_{зл}^2}{2} + \Delta p_{зл} = \\ &= 0,043 \frac{12 + 13 + 15 + 4}{2,1 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{890 \cdot 2^2}{2} + 3,14 \cdot 10^5 = 4,49 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \end{aligned}$$

**1.3.** Тиск  $p_1$  у напірній порожнині циліндра визначається із умови рівноваги  $p_1 \cdot S_1 = p_2 \cdot S_2 + R + T_1 + T_2 + T_3$  (рис. 4.2), де  $T_1$  – сила тертя в ущільненні поршня під дією тиску  $p_1$ ;  $T_2$  – сила тертя в ущільненні поршня під дією тиску  $p_2$ ;  $T_3$  – сила тертя в ущільненні поршня під дією тиску  $p_3$ .

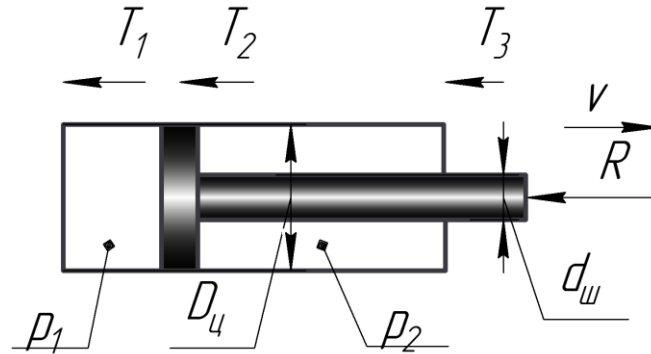


Рисунок 4.2 – Схема гідроциліндра

$$p_1 = \frac{p_2 \frac{\pi(D_{ц}^2 - d_{п}^2)}{4} + R + p_{\kappa}(D_{ц}H_{ц}i_n + d_{п}H_{п}i_{п})\mu + p_2\mu(D_{ц}H_{ц}i_n + d_{п}H_{п}i_{п})}{\frac{\pi \cdot D_{ц}^2}{4} - \mu \cdot \pi \cdot D_{ц} \cdot H_{ц} \cdot i_n},$$

$$p_1 = \frac{4,49 \cdot 10^5 \frac{3,14(0,1^2 - 0,04^2)}{4} + 17 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^6(0,1 \cdot 0,01 \cdot 2 + 0,04 \cdot 0,01 \cdot 3) \cdot \mu}{\frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} - 0,1 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,01 \cdot 2} = 30,08 \cdot 10^5 \text{ H / м}^2.$$

**1.4.** Втрати тиску в напірній магістралі:

$$\Delta p_1 = \lambda_n \cdot \frac{\sum_{i=1}^i l_{i \cdot n}}{d_n} \cdot \frac{\rho \cdot v_n^2}{2} + \Delta p_{\phi \cdot n} + \Delta p_{p \cdot n} + \Delta p_{dp},$$

де  $\sum_{l=1}^i l_{i \cdot n} = l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 + l_8$  – суми довжин напірних трубопроводів

при дросельному регулюванні.

1.4.1. Витрата рідини:

$$Q_1 = \frac{v \cdot \pi \cdot D_y^2}{4} = \frac{0,10 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

1.4.2. Діаметр напірного трубопроводу:

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{v_H \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{v \cdot D_y^2}{v_H}} = \sqrt{\frac{0,10 \cdot 0,1^2}{4}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

З нормалізованого ряду (п. 4.2.2) приймаємо діаметр напірного трубопроводу  $d_H = 0,016 \text{ м}$ .

1.4.3. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_H \cdot d_H}{\nu_t} = \frac{4 \cdot 0,016}{14,3 \cdot 10^{-6}} = 4475,5.$$

1.4.4. Коефіцієнт гідравлічного тертя при  $Re \geq 2300$ :

$$\lambda_H = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{4475,5}} = 0,039.$$

1.4.5. Втрати тиску на фільтрі:

$$\Delta p_{\phi \cdot H} = \Delta p_{\phi \cdot \text{ном}} \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_{\text{ном}}} \right)^2.$$

З нормалізованого ряду напірних фільтрів [7, 8] типу Ф7М з електровізуальним індикатором (табл. 4.2) приймаємо  $Q_{\text{ном}} \geq Q_1$  (до найближчого більшого значення) і  $\Delta p_{\phi \cdot \text{ном}}$ .

Таблиця 4.2 – Втрати тиску в фільтрах

Тип фільтра	Ф7М $\frac{12-10}{200}$	Ф7М $\frac{20-10}{200}$	Ф7М $\frac{32-10}{200}$	Ф7М $\frac{40-10}{200}$
Номінальна пропускна здатність, $Q_{\text{ном}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$	$10,5 \cdot 10^{-4}$	$26,67 \cdot 10^{-4}$	$53,33 \cdot 10^{-4}$
Втрати тиску, $\Delta p_{\phi \cdot \text{ном}}, \text{ Н/м}^2$	$0,9 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$

Примітка. Номінальний тиск для фільтрів  $p_{\text{ном}} = 20 \text{ МПа}$ .

Приймаємо по табл. 4.2 фільтр магнітний Ф7М  $\frac{20-10}{200}$  з умовним проходом 20 мм, номінальною тонкістю фільтрації 10 мкм на тиск 200 кгс/см<sup>2</sup>:  
 $Q_{ном} = 10,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta p_{\phi \cdot ном} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

$$\Delta p_{\phi \cdot н} = 1,2 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{0,79 \cdot 10^{-3}}{10,5 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = 0,68 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

1.4.6. Втрати тиску на розподільнику:

$$\Delta p_{p \cdot н} = \Delta p_{p \cdot ном} \cdot \left( \frac{Q_1}{Q_{ном}} \right)^2$$

З нормалізованого ряду розподільників типів Г72-1 і Г72-2 вибираємо  $Q_{ном} \geq Q_1$  (до найближчого більшого значення) і  $\Delta p_{p \cdot ном}$  – за даними таблиці 4.1.

$$\Delta p_{p \cdot н} = 2,45 \cdot 10^5 \cdot \left( \frac{0,79 \cdot 10^{-3}}{11,66 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = 1,12 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Остаточо вибираємо розподільники типу Г72-14.

1.4.7. Втрати тиску на дроселі [2, 10]:

$$\Delta p_{др} = \frac{\rho \cdot Q_1^2}{2 \mu_{др}^2 \cdot S_{др}^2} = \frac{890 \cdot (0,79 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 0,65^2 \cdot \left( 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} \right)^2} = 16,28 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2,$$

де  $\mu_{др}$  – коефіцієнт витрати через дросель,  $\mu_{др} = 0,62 \dots 0,72$ ;

$S_{др}$  – площа прохідного перерізу дроселя,  $S_{др} = 0,1 \cdot S_{тр} = 0,1 \cdot \frac{\pi \cdot d_H^2}{4}$ .

1.4.8. Втрати тиску в напірній магістралі:

$$\Delta p_1 = 0,039 \cdot \frac{13 + 12 + 9 + 15 + 11 + 9}{0,016} \cdot \frac{890 \cdot 4^2}{2} + (0,68 + 1,125 + 16,28) \cdot 10^5 =$$

$$= 30,93 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

**1.5.** Тиск рідини на виході з насоса:

$$p_n = p_1 + \Delta p_1 = 30,08 \cdot 10^5 + 30,93 \cdot 10^5 = 61,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

**1.6.** Подача насоса [2,10]:

$$Q_n' = Q_1 + 0,1 \cdot Q_1 = 0,79 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 0,79 \cdot 10^{-3} = 8,69 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $0,1 \cdot Q_1$  – на перелив через клапан [10].

Вибираємо із табл. 4.3 насос типу Г12-24АМ з  $Q_n = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  та

$$\eta_{\text{еф.н}} = 0,8.$$

Таблиця 4.3 – Об'ємні насоси нерегульовані

Тип насоса	Г12-31АМ	Г12-31М	Г12-32АМ	Г12-32М	Г12-33АМ	Г12-33М	Г12-24АМ	Г12-24М	Г12-25АМ	Г12-25М	Г12-26М
Подача насоса, $Q_n, \text{ м}^3/\text{с}$	$0,83 \cdot 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-4}$	$11,67 \cdot 10^{-4}$	$16,67 \cdot 10^{-4}$	$23,33 \cdot 10^{-4}$	$35,33 \cdot 10^{-4}$
Повний (ефективний) ККД, $\eta_{\text{еф.н}}$	0,55	0,6	0,7	0,76	0,8	0,84	0,8	0,82	0,85	0,86	0,87

Примітка. Номінальний тиск  $p_{\text{ном}}$  приведених типів насосів – 6,3 МПа.

**1.7.** Ефективна потужність насоса:

$$N_{\text{еф.н}} = Q_n \cdot p_n = 8,33 \cdot 10^{-4} \cdot 61,01 \cdot 10^5 = 5082 \text{ Вт} = 5,08 \text{ кВт}.$$

**1.8.** Споживана потужність насоса:

$$N_{\text{сп}} = \frac{N_{\text{еф.н}}}{\eta_{\text{еф.н}}} = \frac{5,08}{0,8} = 6,35 \text{ кВт}.$$

**1.9.** Ефективна потужність гідродвигуна:

$$N_{\text{еф.д}} = R \cdot v = 17 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 1,7 \text{ кВт}.$$

**1.10.** Повний ККД гідроприводу з дросельним регулюванням:

$$\eta_{zn.dp} = \frac{N_{ef.\partial}}{N_{cn}} = \frac{1,7}{6,35} = 0,268.$$

Другий вид регулювання – об’ємний (рис. 3.1, б).

2.1. Втрати тиску в напірній магістралі:

$$\Delta p_1' = 0,039 \cdot \frac{13 + 9 + 15 + 11 + 9 + 13 + 15}{0,016} \cdot \frac{890 \cdot 4^2}{2} + (0,68 + 1,12) \cdot 10^5 = 16,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

2.2. Тиск рідини на виході з насоса:

$$p_H = p_1 + \Delta p_1' = 30,08 \cdot 10^5 + 16,5 \cdot 10^5 = 46,58 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

2.3. Подача насоса:

$$Q_H'' = Q_1 = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

З нормалізованого ряду (табл. 4.4) по  $Q_H$  вибираємо регульований аксіально-поршневий насос з подачею  $Q_H \geq Q_H''$  (до найближчого більшого значення) і повний (ефективний) ККД [8, с. 34-35].

Таблиця 4.4 – Об’ємні насоси регульовані

Тип насоса	НАР						
	$\frac{16}{200}$	$\frac{18}{200}$	$\frac{40}{200}$	$\frac{63}{200}$	$\frac{71}{200}$	$\frac{125}{200}$	$\frac{140}{200}$
Номінальна подача насоса, $Q_H$ , м <sup>3</sup> /с;	$3,66 \cdot 10^{-4}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$	$9,33 \cdot 10^{-4}$	$14,83 \cdot 10^{-4}$	$16,67 \cdot 10^{-4}$	$29,67 \cdot 10^{-4}$	$33,33 \cdot 10^{-4}$
л/хв	22	25	56,5	89	100	178	200
Повний (ефективний) ККД, $\eta_{ef.H}$	0,87	0,87	0,88	0,89	0,89	0,9	0,9

Примітка. Номінальний тиск  $p_{ном}$  приведених насосів типу НАР – 17 МПа.

Вибираємо насос НАР  $\frac{40}{200}$ :  $Q_H = 9,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\eta_{ef.H} = 0,88$ .



**2.4.** Ефективна потужність насоса:

$$N_{ef.n} = Q_n \cdot p_n = 9,33 \cdot 10^{-4} \cdot 46,58 \cdot 10^5 = 4,35 \text{кВт}.$$

**2.5.** Споживана потужність насоса:

$$N_{cn} = \frac{N_{ef.n}}{\eta_{ef.n}} = \frac{4,35}{0,88} = 4,94 \text{кВт}.$$

**2.6.** Ефективна потужність гідродвигуна (гідроциліндра):

$$N_{ef.\partial} = R \cdot v = 17 \cdot 10^3 \cdot 0,1 = 1,7 \text{кВт}.$$

**2.7.** Повний ККД гідроприводу:

$$\eta_{гн.др} = \frac{N_{ef.\partial}}{N_{cn}} = \frac{1,7}{4,94} = 0,35.$$

**Висновки.** Схема об'ємного регулювання більш економічна, оскільки ККД гідроприводу з об'ємним регулюванням більший в порівнянні з ККД гідроприводу з дросельним регулюванням ( $0,35 > 0,268$ ), відповідно споживана потужність менша ( $4,94 < 6,35$ ).

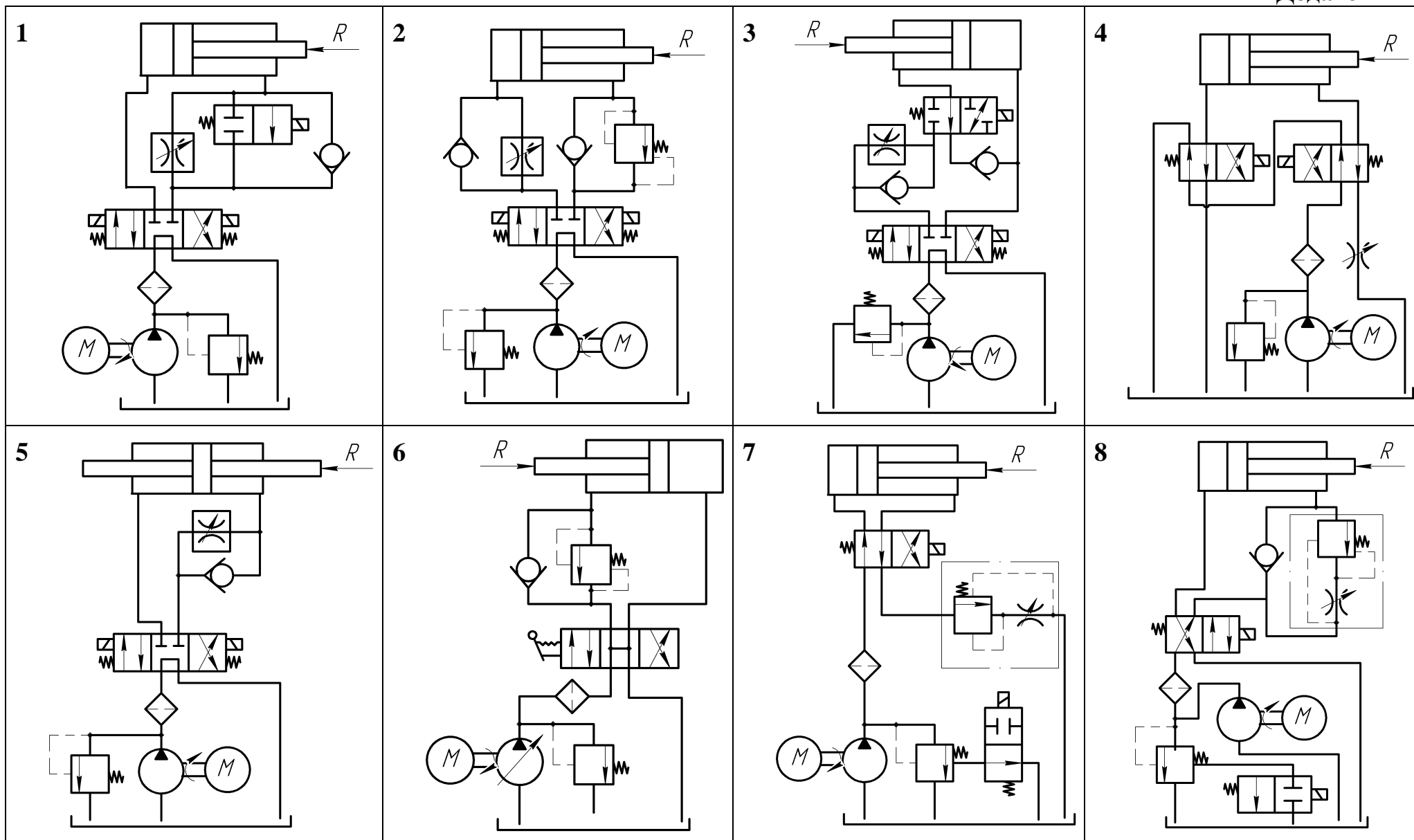


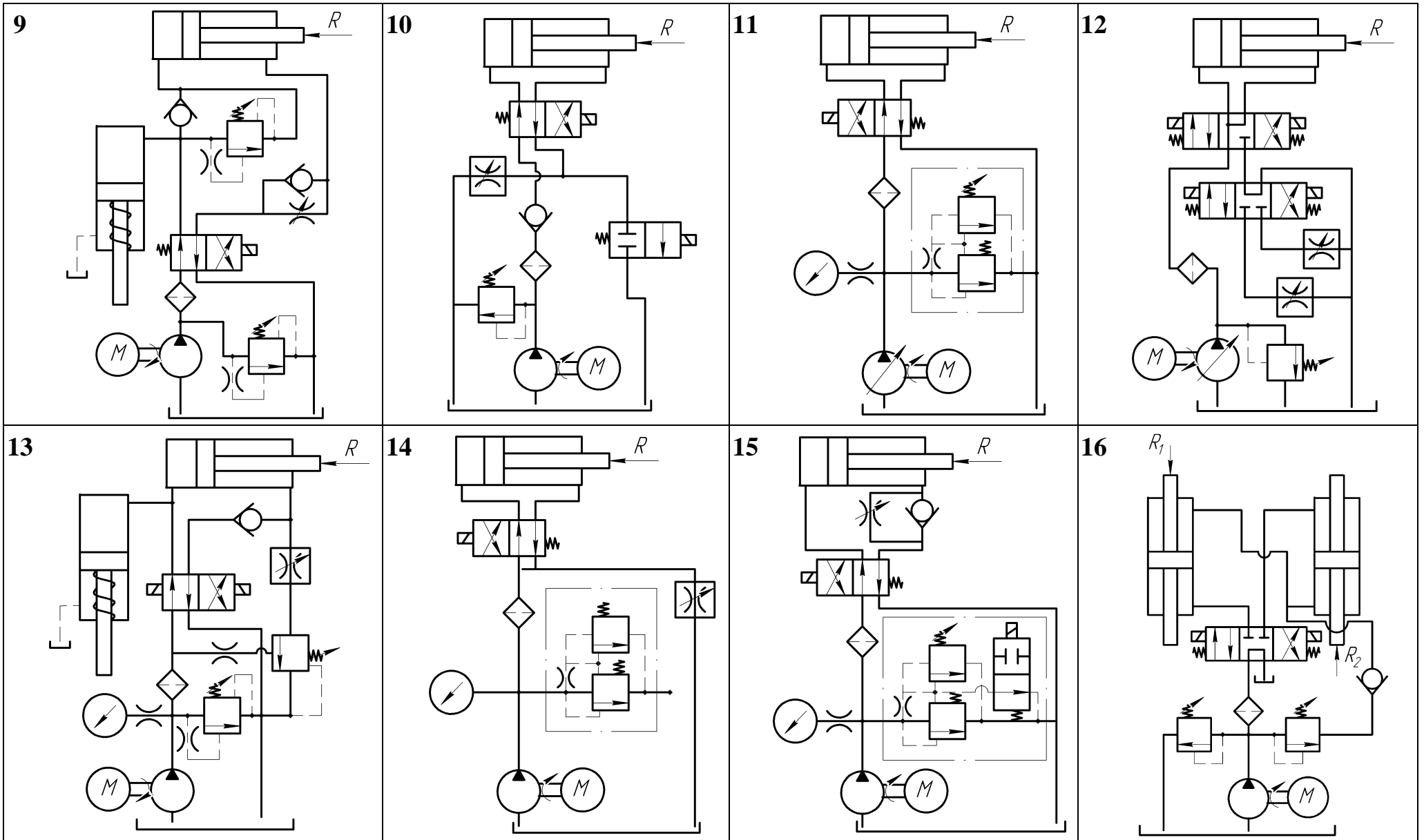
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №				НП1	Г12-25АМ	Насос пластинчатий	1	Q=100л/хв р=6,3МПа	
				Р1	Г72-14	Розподільник 3-х позиційний	1	Q=70л/хв р=16МПа	
				Ц1	1-100Х40Х500 ОСТ 2Г29-1-77	Гідроциліндр	1		
Подп. и дата				Р2	Г72-14	Розподільник 2-х позиційний	1	Q=70л/хв р=20МПа	
				А1	Г53-33	Дросель з регулятором	1	Q=250л/хв р=32МПа	
				1-16		Трубопроводи всмактування, напору, зливу	16		
Взам. инв. №				К01	Г51-23	Клапан зворотній	1	Q=35л/хв р=20МПа	
				Ф1	Ф7М(32-10)/200	Фільтр	1	Q=160л/хв р=16МПа	
				ЗН1	БГ 54-13	Золотник напірний	1	Q=160л/хв р=10МПа	
					Розрахунково-графічна робота				
Инв. № подл.		Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата	Лит.	Лист	Листов
		Разраб.	Иванов						1
		Проб.	Бандар				ЧНТУ гр. МВ-151		
		Н.контр.					Формат А4		
		Утв.							

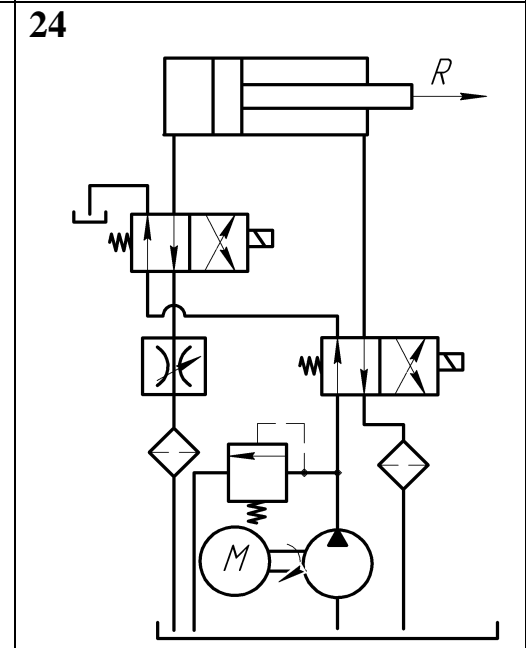
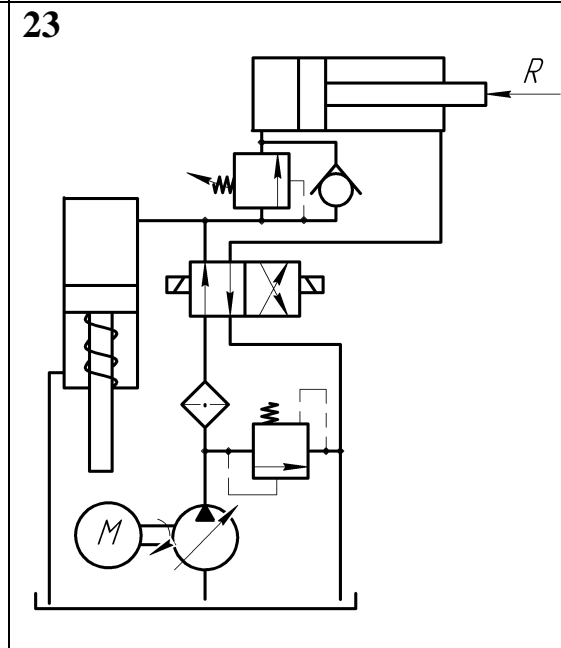
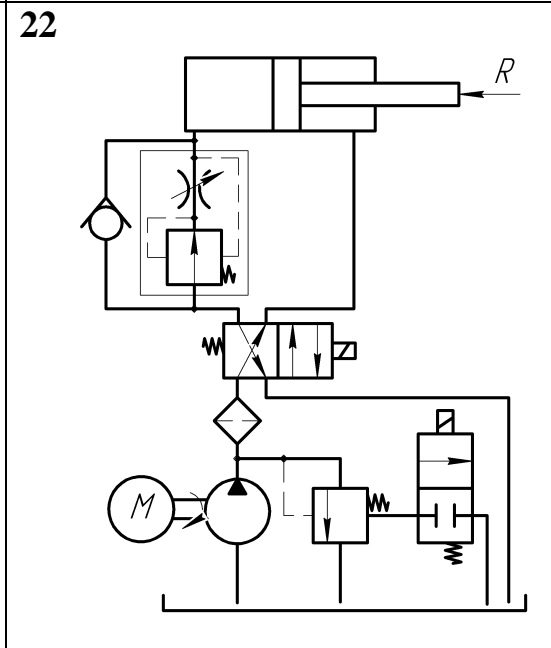
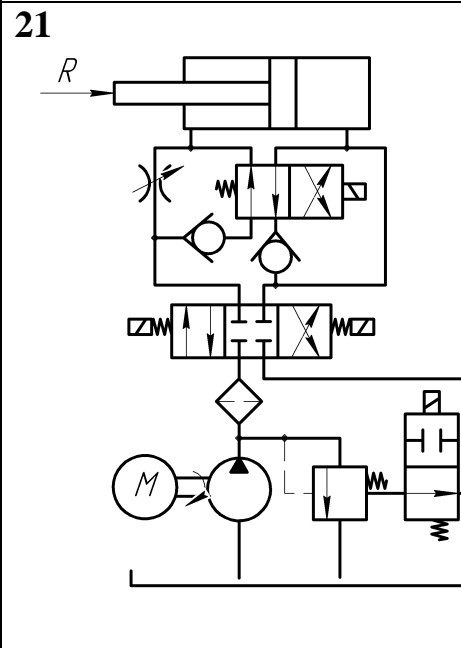
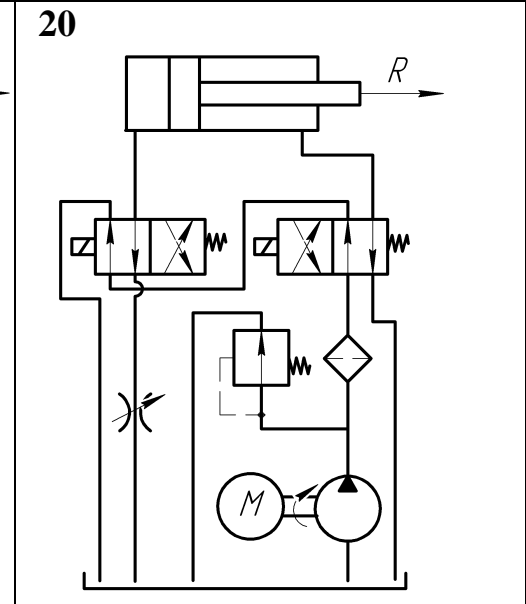
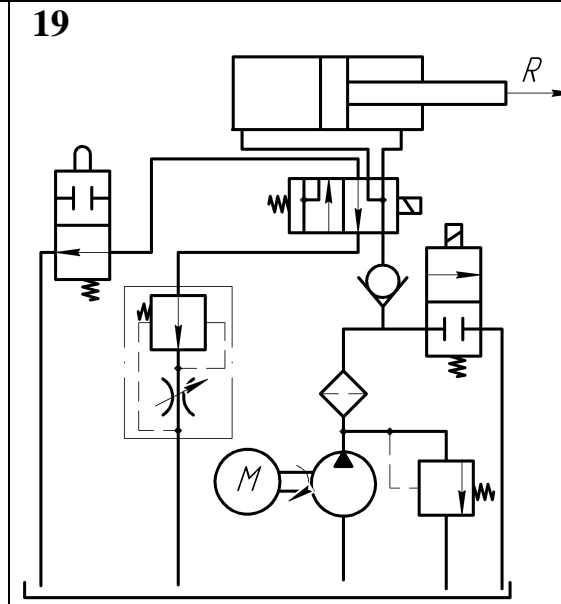
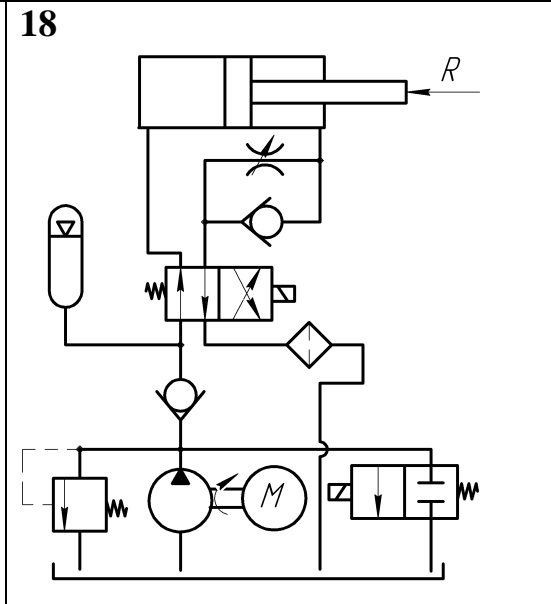
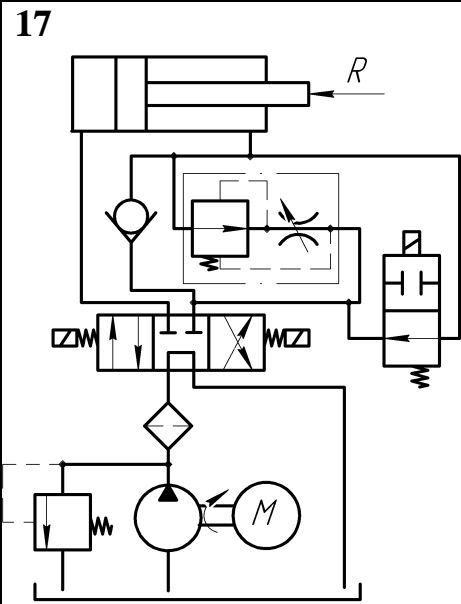
Копировал

Таблиця В.1 – Варіанти завдань

Алфавіт	Варіанти схеми	Навантаження $R$ , кН	Швидкість $v$ , м/с	Довжина штока, $L$ , м	Температура $t$ , °С	Довжина трубопроводів, м															
						$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$	$l_7$	$l_8$	$l_9$	$l_{10}$	$l_{11}$	$l_{12}$	$l_{13}$	$l_{14}$	$l_{15}$	$l_{16}$
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
А, Б, В	1, 2, 3	17	0,18	0,5	70	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	6	10	12	2
Г, Д, Е	4, 5, 6	18	0,16	0,6	58	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	17	14	8	6
Ж, З, І (И, Ї)	7, 8, 9	15	0,20	0,7	76	6	8	10	12	14	15	4	5	7	9	11	13	4	6	16	14
К, Л	10, 11	19	0,10	0,8	74	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
М, Н	12, 13	16	0,17	0,9	72	9	10	11	12	13	14	15	16	15	6	7	8	9	10	11	12
О, П, Р	14, 15, 16	22	0,19	1,0	70	10	11	12	13	14	15	16	9	5	6	16	4	8	9	10	7
С, Т, У	17, 18, 18	21	0,23	1,1	68	11	12	13	14	15	9	5	6	16	10	8	9	7	4	11	8
Ф, Х, Ц	19, 20, 20	20	0,24	1,2	66	12	13	14	15	9	15	16	10	8	9	7	4	11	10	12	14
Ч, Ш, Щ	21, 22, 22	23	0,22	1,3	64	13	14	15	9	14	16	10	8	9	7	4	11	12	14	9	10
Є, Ю, Я	22, 23, 24	24	0,21	1,4	62	14	15	9	14	16	10	8	9	7	4	11	13	4	10	6	18







Таблиця Д. 1 – Залежність сили, кГ, яка діє на площу кола, від тиску

$D_{ц}, \text{мм}$	$\frac{\pi D_{ц}^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, кГ/см <sup>2</sup>											
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	3,14	0,314	0,345	0,376	0,408	0,439	0,471	0,502	0,533	0,565	0,596	0,628	0,659
2,5	4,91	0,491	0,539	0,588	0,637	0,686	0,735	0,784	0,833	0,882	0,931	0,980	1,029
3	7,07	0,707	0,777	0,848	0,919	0,989	1,060	1,131	1,201	1,272	1,343	1,414	1,484
3,5	9,62	0,962	1,058	1,154	1,250	1,346	1,443	1,539	1,635	1,731	1,827	1,924	2,020
4	12,57	1,257	1,382	1,508	1,634	1,759	1,885	2,011	2,136	2,262	2,388	2,514	2,639
4,5	15,9	1,59	1,749	1,908	2,067	2,226	2,385	2,544	2,703	2,862	3,021	3,180	3,339
5	19,63	1,963	2,159	2,355	2,551	2,748	2,944	3,141	3,337	3,533	3,729	3,926	4,122
5,5	23,76	2,376	2,613	2,851	3,088	3,326	3,564	3,801	4,039	4,276	4,514	4,752	4,989
6	28,27	2,827	3,109	3,392	3,675	3,957	4,240	4,523	4,805	5,088	5,371	5,654	5,936
6,5	33,18	3,318	3,649	3,981	4,313	4,645	4,977	5,308	5,640	5,972	6,304	6,636	6,967
7	38,48	3,848	4,232	4,617	5,002	5,387	5,772	6,156	6,541	6,926	7,311	7,696	8,080
7,5	44,18	4,418	4,859	5,301	5,743	6,185	6,627	7,069	7,510	7,952	8,394	8,836	9,277
8	50,27	5,027	5,529	6,032	6,535	7,037	7,54	8,043	8,545	9,048	9,551	10,05	10,56
8,5	56,75	5,675	6,242	6,81	7,377	7,945	8,512	9,080	9,647	10,21	10,78	11,35	11,92
9	63,62	6,362	6,998	7,634	8,27	8,906	9,543	10,18	10,81	11,45	12,09	12,72	13,36
9,5	70,88	7,088	7,797	8,506	9,214	9,923	10,63	11,34	12,05	12,76	13,47	14,18	14,88
10	78,54	7,854	8,639	9,425	10,21	10,99	11,78	12,57	13,35	14,14	14,92	15,71	16,49
11	95,03	9,503	10,45	11,40	12,35	13,3	14,25	15,2	16,15	17,10	18,05	19,01	19,96
12	113,1	11,31	12,44	13,57	14,70	15,83	16,96	18,1	19,23	20,36	21,49	22,62	23,75
13	132,7	13,27	14,59	15,92	17,25	18,58	19,9	21,23	22,56	23,89	25,21	26,54	27,87



$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кг/см}^2$											
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
14	153,9	15,39	16,93	18,47	20,01	21,55	23,08	24,62	26,16	27,7	29,24	30,78	32,32
15	176,7	17,67	19,44	21,2	22,97	24,74	26,5	28,27	30,04	31,81	33,57	36,34	37,11
16	201,1	20,11	22,12	24,13	26,14	28,15	30,16	32,18	34,19	36,20	38,21	40,22	42,23
17	227	22,7	24,97	27,24	29,51	31,78	34,05	36,32	38,59	40,86	43,13	45,4	47,67
18	254,5	25,45	28,0	30,54	33,08	35,63	38,17	40,72	43,26	45,81	48,35	50,9	53,44
19	283,5	28,35	31,18	34,02	36,85	39,69	42,52	45,36	48,19	51,03	53,86	56,7	59,53
20	314,2	31,42	34,56	37,7	40,85	43,99	47,13	50,27	53,41	56,56	59,7	62,84	65,98
22	380,1	38,01	41,81	45,61	49,41	53,21	57,01	60,82	64,62	68,42	72,22	76,02	79,82
24	452,4	45,24	49,76	54,29	58,81	63,34	67,86	72,38	76,91	81,34	85,96	90,48	95,0
25	490,9	49,09	54,0	58,91	63,82	68,73	73,63	78,54	83,45	88,36	93,27	98,18	103,09
26	530,9	53,09	58,40	63,71	69,02	74,33	79,63	84,94	90,25	95,56	100,9	106,2	111,5
28	615,8	61,58	67,74	73,9	80,05	86,21	92,37	98,53	104,7	110,8	117,0	123,2	129,3
30	706,9	70,69	77,76	84,83	91,9	98,97	106,0	113,1	120,2	127,2	134,3	141,4	148,4
32	804,2	80,42	88,46	96,5	104,5	112,6	120,6	128,7	136,7	144,8	152,8	160,8	168,9
34	907,9	90,79	99,87	108,9	118,0	127,1	136,2	145,3	154,3	163,2	172,5	181,6	190,6
35	962,1	96,21	105,83	115,4	125,1	134,7	144,3	153,9	163,5	173,2	182,8	192,4	202,0
36	1018	101,8	112,0	122,2	132,3	142,5	152,7	162,9	173,1	183,2	193,2	203,6	213,8
38	1134	113,4	124,7	136,1	147,4	158,8	170,1	181,4	192,8	204,1	215,5	226,8	238,1
40	1257	125,7	138,3	150,8	163,4	176,0	188,5	201,1	213,7	226,3	238,8	251,4	264
42	1385	138,5	152,3	166,2	180,0	193,9	207,7	221,6	235,4	249,3	263,1	270,0	290,8
44	1521	152,1	167,3	182,5	197,7	212,9	228,1	243,4	258,6	273,8	288,9	304,2	319,4

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, кг/см <sup>2</sup>											
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>45</b>	<b>1590</b>	159	174,9	190,8	206,7	222,6	238,5	254,4	270,3	286,2	302,1	318	333,9
<b>46</b>	<b>1662</b>	166,2	182,8	199,4	216,1	232,7	249,3	265,9	282,5	299,2	315,8	332,4	349,0
<b>48</b>	<b>1810</b>	181	199,1	217,2	235,3	253,4	271,5	289,6	307,7	325,8	343,9	362	380,1
<b>50</b>	<b>1963</b>	196,3	215,9	235,6	255,2	274,8	294,4	314,1	333,7	353,3	373,0	392,6	412,2
<b>52</b>	<b>2124</b>	212,4	233,6	254,9	276,1	297,4	318,6	339,8	361,1	382,3	403,6	424,8	446,0
<b>54</b>	<b>2290</b>	229,0	251,9	274,8	297,7	320,6	343,5	366,4	389,3	412,2	435,1	458,0	480,9
<b>55</b>	<b>2376</b>	237,6	261,4	285,1	308,9	332,6	356,4	380,2	403,9	427,7	451,4	475,2	499,0
<b>56</b>	<b>2463</b>	246,3	270,9	295,6	320,2	344,8	369,4	394,1	418,7	443,3	468,0	492,6	517,2
<b>58</b>	<b>2642</b>	264,2	290,6	317,0	343,5	369,9	396,3	422,7	449,1	475,6	502,0	528,4	554,8
<b>60</b>	<b>2827</b>	282,7	311,0	339,2	367,5	395,8	424,0	452,3	480,6	508,9	537,1	565,4	593,7
<b>65</b>	<b>3318</b>	331,8	365,0	398,2	431,3	464,5	497,7	530,9	564,1	597,2	630,4	663,6	696,8
<b>70</b>	<b>3848</b>	384,8	423,3	461,8	500,2	538,7	577,2	615,7	654,2	692,6	731,1	769,6	808,1
<b>75</b>	<b>4418</b>	441,8	486,1	530,2	574,3	618,5	662,7	706,9	651,1	795,2	839,4	883,6	927,8
<b>80</b>	<b>5027</b>	502,7	553,0	603,2	653,5	703,8	754,0	804,3	854,6	904,9	955,1	1005	1056
<b>85</b>	<b>5675</b>	567,5	624,2	681,2	737,7	794,5	851,2	908	964,7	1021	1078	1135	1192
<b>90</b>	<b>6362</b>	636,2	699,8	763,4	827,1	890,7	954,3	1018	1081	1145	1209	1272	1336
<b>95</b>	<b>7088</b>	708,8	779,7	850,6	921,4	992,3	1063,2	1134	1205	1276	1347	1418	1488
<b>100</b>	<b>7854</b>	785,4	863,9	942,5	1021	1099	1178	1257	1335	1414	1492	1571	1649

$D_{ц}, \text{мм}$	$\frac{\pi D_{ц}^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кг/см}^2$											
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45
<b>2</b>	<b>3,14</b>	0,690	0,722	0,753	0,785	0,816	0,847	0,879	0,910	0,942	1,099	1,256	1,413
<b>2,5</b>	<b>4,91</b>	1,078	1,127	1,176	1,225	1,274	1,323	1,372	1,421	1,470	1,715	1,960	2,205
<b>3</b>	<b>7,07</b>	1,555	1,626	1,696	1,767	1,838	1,908	1,979	2,050	2,121	2,474	2,828	3,181
<b>3,5</b>	<b>9,62</b>	2,116	2,212	2,308	2,405	2,501	2,597	2,693	2,789	2,886	3,367	3,847	4,329
<b>4</b>	<b>12,57</b>	2,765	2,891	3,016	3,142	3,268	3,393	3,519	3,645	3,771	4,399	5,028	5,656
<b>4,5</b>	<b>15,9</b>	3,498	3,657	3,816	3,975	4,134	4,293	4,452	4,611	4,770	5,565	6,630	7,155
<b>5</b>	<b>19,63</b>	4,318	4,514	4,711	4,907	5,103	5,3	5,496	5,692	5,889	6,870	7,852	8,833
<b>5,5</b>	<b>23,76</b>	5,227	5,464	5,702	5,94	6,177	6,415	6,652	6,890	7,128	8,316	9,504	10,69
<b>6</b>	<b>28,27</b>	6,219	6,502	6,784	7,067	7,35	7,632	7,915	8,198	8,481	9,894	11,31	12,72
<b>6,5</b>	<b>33,18</b>	7,299	7,631	7,963	8,295	8,626	8,958	9,290	9,622	9,954	11,61	13,27	14,93
<b>7</b>	<b>38,48</b>	8,465	8,850	9,235	9,620	10,00	10,39	10,77	11,16	11,54	13,47	15,39	17,32
<b>7,5</b>	<b>44,18</b>	9,719	10,16	10,64	11,04	11,49	11,93	12,37	12,81	13,25	15,46	17,67	19,88
<b>8</b>	<b>50,27</b>	11,06	11,56	12,06	12,57	13,07	13,57	14,07	14,58	15,08	17,59	20,11	22,62
<b>8,5</b>	<b>56,75</b>	12,48	13,005	13,62	14,19	14,75	15,32	15,89	16,46	17,02	19,86	22,7	22,54
<b>9</b>	<b>63,62</b>	14,00	14,63	15,27	15,9	16,54	17,17	17,81	18,45	19,01	22,27	25,45	28,63
<b>9,5</b>	<b>70,88</b>	15,59	16,3	17,01	17,72	18,43	19,14	19,85	20,55	21,61	24,81	28,35	31,9
<b>10</b>	<b>78,54</b>	17,28	18,06	18,85	19,63	20,42	21,2	21,99	22,78	23,56	27,49	31,42	35,34
<b>11</b>	<b>95,03</b>	20,91	21,86	22,81	23,76	24,71	25,66	26,61	27,56	28,51	33,26	38,01	42,76
<b>12</b>	<b>113,1</b>	24,88	26,01	27,14	28,27	29,41	30,54	31,67	32,80	33,93	39,58	45,21	50,89
<b>13</b>	<b>132,7</b>	29,19	30,52	31,85	33,17	34,5	35,83	37,16	38,48	39,81	46,44	53,08	59,71
<b>14</b>	<b>153,9</b>	33,86	35,4	36,94	38,47	40,01	41,55	43,09	44,63	46,17	53,86	61,56	69,25

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кГ/см}^2$											
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45
15	176,7	38,87	40,64	42,41	44,17	45,94	47,71	49,48	51,24	53,01	61,84	70,68	79,51
16	201,1	44,24	46,25	48,26	50,27	52,29	54,30	56,31	58,32	60,33	70,38	80,44	90,49
17	227	49,94	52,21	54,48	56,75	59,01	61,29	63,56	65,83	68,1	79,45	90,8	102,1
18	254,5	55,99	58,53	61,08	63,62	66,17	68,71	71,26	73,8	76,35	89,07	101,8	114,5
19	283,5	62,37	65,2	68,04	70,87	73,71	76,54	79,38	82,21	85,05	99,22	113,4	127,57
20	314,2	69,12	72,27	75,41	78,55	81,69	84,83	87,98	91,12	94,26	109,9	125,7	141,4
22	380,1	83,62	87,42	91,22	95,01	98,83	102,63	106,4	110,2	114,0	133,0	152,0	171,0
24	452,4	99,53	104,0	108,6	113,1	117,6	122,1	126,7	131,2	135,7	158,3	181,0	203,6
25	490,9	108,0	112,9	117,8	122,7	127,6	132,5	137,4	142,4	147,3	171,8	196,4	220,9
26	530,9	116,8	122,1	127,4	132,4	138,0	143,3	148,6	154,0	159,3	185,8	212,4	238,9
28	615,8	135,5	141,6	147,8	153,9	160,1	166,3	172,4	178,6	184,7	215,5	246,3	277,1
30	706,9	155,5	162,6	169,6	176,7	183,8	190,9	197,9	205,0	212,1	247,4	282,8	318,1
32	804,2	176,9	185,0	193	201,0	209,1	217	225,2	232,2	241,3	281,5	321,7	361,9
34	907,9	199,7	208,8	217,9	227,0	236,0	245,1	254,2	263,3	272,4	317,8	363,2	408,5
35	962,1	211,7	221,03	230,9	240,5	250,1	259,8	269,4	279,0	288,6	336,7	384,8	432,9
36	1018	224,0	234,1	244,3	254,5	264,7	274,9	285,0	295,2	305,4	356,3	407,2	458,1
38	1134	249,5	260,8	272,2	283,5	294,8	306,2	317,5	328,9	340,2	396,0	453,6	510,3
40	1257	276,5	289,1	301,7	314,2	326,8	339,4	352,0	364,5	377,1	439,9	502,8	565,6
42	1385	304,7	318,5	332,4	346,2	360,1	373,9	387,8	401,6	415,5	484,7	554,0	623,2
44	1521	334,6	349,8	365,0	380,3	410,7	410,7	425,9	441,1	456,3	532,3	608,4	684,4

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кГ/см}^2$											
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	35	40	45
<b>45</b>	<b>1590</b>	349,8	365,7	381,7	397,5	413,4	429,3	445,2	461,1	477,0	556,5	636,0	715,5
<b>46</b>	<b>1662</b>	365,6	382,3	398,9	415,5	432,1	448,7	465,4	482,0	498,6	581,7	664,8	747,9
<b>48</b>	<b>1810</b>	398,2	416,3	434,4	452,5	470,6	488,7	506,8	524,9	543,0	633,5	724,0	814,5
<b>50</b>	<b>1963</b>	431,9	451,5	471,1	490,7	510,4	530,0	549,6	569,3	588,9	687,0	785,2	883,3
<b>52</b>	<b>2124</b>	467,3	488,5	509,8	531,0	552,2	573,5	594,7	616,0	637,2	743,4	849,6	955,8
<b>54</b>	<b>2290</b>	503,8	526,7	549,6	572,5	595,4	618,3	641,2	664,2	687,0	801,5	916,0	1030
<b>55</b>	<b>2376</b>	522,7	546,5	570,2	594,0	617,8	641,5	665,3	689,0	712,8	831,6	950,4	1069
<b>56</b>	<b>2463</b>	541,9	566,5	591,1	615,7	640,4	665,0	689,6	714,3	738,9	862,0	985,2	1108
<b>58</b>	<b>2642</b>	581,2	607,7	634,1	660,5	686,9	713,3	739,8	766,2	792,6	924,7	1057	1189
<b>60</b>	<b>2827</b>	621,9	650,2	678,5	706,7	735,0	763,3	791,6	819,8	848,1	989,4	1131	1272
<b>65</b>	<b>3318</b>	730,0	763,1	796,3	829,5	862,7	895,9	929,0	962,2	995,4	1161	1327	1493
<b>70</b>	<b>3848</b>	846,6	885,3	923,5	962	1000	1039	1077	1116	1154	1347	1539	1732
<b>75</b>	<b>4418</b>	972,0	1016	1060	1104	1149	1193	1237	1281	1325	1546	1767	1988
<b>80</b>	<b>5027</b>	1106	1156	1206	1257	1307	1357	1407	1458	1508	1759	2011	2262
<b>85</b>	<b>5675</b>	1248	1305	1362	1419	1475	1532	1589	1646	1702	1986	2270	2554
<b>90</b>	<b>6362</b>	1400	1463	1527	1590	1654	1718	1781	1845	1909	2227	2545	2863
<b>95</b>	<b>7088</b>	1559	1630	1701	1772	1843	1914	1985	2055	2126	2481	2835	3190
<b>100</b>	<b>7854</b>	1728	1806	1885	1963	2042	2120	2199	2278	2356	2749	3142	3534

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кг/см}^2$										
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2	3,14	1,570	1,727	1,884	2,041	2,198	2,355	2,512	2,669	2,826	2,983	3,140
2,5	4,91	2,450	2,695	2,940	3,185	3,430	3,675	3,920	4,165	4,410	4,655	4,9
3	7,07	3,535	3,888	4,242	4,595	4,949	5,302	5,656	6,009	6,363	6,716	7,07
3,5	9,62	4,810	5,291	5,772	6,253	6,734	7,215	7,696	8,177	8,658	9,139	9,62
4	12,57	6,285	6,913	7,542	8,170	8,799	9,427	10,06	10,68	11,31	11,94	12,57
4,5	15,9	7,950	8,745	9,540	10,33	11,13	11,92	12,72	13,51	14,31	15,10	15,90
5	19,63	9,815	10,79	11,78	12,76	13,74	14,72	15,70	16,68	17,67	18,65	19,63
5,5	23,76	11,88	13,07	14,26	15,44	16,63	17,82	19,01	20,2	21,38	22,57	23,76
6	28,27	14,13	15,55	16,96	18,37	19,79	21,20	22,62	24,03	25,44	26,86	28,27
6,5	33,18	16,59	18,25	19,91	21,57	23,23	24,88	26,54	28,20	29,86	31,52	33,18
7	38,48	19,24	21,17	23,09	25,01	26,94	28,86	30,78	32,32	34,63	36,55	38,48
7,5	44,18	22,09	24,30	26,51	28,72	30,93	33,13	35,34	37,55	39,76	41,97	44,18
8	50,27	25,13	27,65	30,16	32,67	35,19	37,7	40,22	42,73	45,24	47,76	50,27
8,5	56,75	28,37	31,21	34,05	38,89	39,72	42,56	45,4	48,24	51,07	53,91	56,75
9	63,62	31,81	34,99	38,17	41,35	44,53	47,71	50,9	54,08	57,26	60,44	63,62
9,5	70,88	35,44	38,98	42,53	46,07	49,62	53,16	56,7	60,25	63,79	67,34	70,88
10	78,54	39,27	43,2	47,12	51,05	54,98	58,9	62,83	66,76	70,69	74,61	78,54
11	95,03	47,51	52,27	57,02	61,77	66,52	71,27	76,02	80,77	85,53	90,29	95,03
12	113,1	56,55	62,2	67,86	73,51	79,17	84,82	90,48	96,13	101,79	107,4	113,1
13	132,7	66,35	72,98	79,62	86,25	92,89	99,52	106,2	112,7	119,4	126,1	132,7
14	153,9	76,95	84,64	92,34	100,0	107,7	115,4	123,1	130,8	138,5	146,2	153,9

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кг/см}^2$										
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
15	176,7	88,35	97,18	106,0	114,8	123,7	132,5	141,4	150,2	159,0	167,9	176,7
16	201,1	100,5	110,6	120,7	130,7	140,8	150,8	160,9	170,9	181,0	191,0	201,1
17	227	113,5	124,8	136,2	147,5	158,9	170,2	181,6	192,9	204,3	215,6	227,0
18	254,5	127,2	140,0	152,7	165,4	178,1	190,9	203,6	216,3	229,0	241,8	254,5
19	283,5	141,7	155,9	170,1	184,3	198,4	212,6	226,8	241,0	255,1	269,3	283,5
20	314,2	157,1	175,8	188,5	204,2	219,9	235,6	251,4	267,1	282,2	298,5	314,2
22	380,1	190,0	209,0	228,1	247,1	266,1	285,1	304,1	323,1	342,1	361,1	380,1
24	452,4	226,2	248,8	271,4	294,1	316,7	339,3	361,9	384,5	407,2	429,8	452,4
25	490,9	245,4	270,0	294,5	319,1	343,6	368,2	392,7	417,3	441,8	466,3	490,9
26	530,9	265,4	292,0	318,5	345,1	371,6	398,2	424,7	451,3	477,8	504,3	530,9
28	615,8	307,9	338,7	369,5	400,3	431,1	461,8	498,6	523,4	554,2	585,0	615,8
30	706,9	353,4	388,8	424,1	459,5	494,8	530,2	565,5	600,9	636,2	671,5	706,9
32	804,2	402,1	440,3	482,5	522,7	562,9	603,1	643,3	683,6	723,8	764,0	804,2
34	907,9	453,9	499,3	544,7	590,1	635,5	680,9	726,3	771,7	817,1	862,5	907,9
35	962,1	481,0	529,1	577,3	625,4	673,5	721,6	769,7	817,8	865,9	914,0	962,1
36	1018	509,0	560,0	610,8	661,7	712,6	763,5	814,4	865,3	916,2	967,1	1018
38	1134	567,0	623,7	680,4	737,1	793,8	850,5	907,2	963,9	1020	1077	1134
40	1257	628,5	691,3	754,2	817,0	879,9	942,7	1006	1068	1131	1194	1257
42	1385	692,5	761,7	831,0	900,2	979,5	1039	1108	1177	1246	1316	1385
44	1521	760,5	836,5	912,6	988,6	1065	1141	1217	1293	1369	1445	1521
45	1590	795,0	874,5	954,0	1033	1113	1192	1272	1351	1431	1510	1590

$D_u, \text{мм}$	$\frac{\pi D_u^2}{4}, \text{мм}^2$	Тиск, $\text{кг/см}^2$										
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
<b>46</b>	<b>1662</b>	831,0	914,1	997,2	1080	1163	1246	1330	1413	1496	1579	1662
<b>48</b>	<b>1810</b>	905,0	995,5	1086	1176	1276	1357	1448	1538	1629	1719	1810
<b>50</b>	<b>1963</b>	981,5	1079	1178	1276	1374	1472	1570	1668	1767	1865	1963
<b>52</b>	<b>2124</b>	1062	1168	1274	1381	1487	1593	1699	1805	1912	2018	2124
<b>54</b>	<b>2290</b>	1145	1259	1374	1488	1603	1717	1832	1946	2061	2175	2290
<b>55</b>	<b>2376</b>	1188	1307	1426	1544	1663	1782	1901	2020	2138	2257	2376
<b>56</b>	<b>2463</b>	1231	1355	1478	1601	1724	1847	1970	2093	2217	2340	2463
<b>58</b>	<b>2642</b>	1321	1453	1585	1717	1849	1981	2114	2246	2378	2510	2642
<b>60</b>	<b>2827</b>	1413	1555	1696	1837	1979	2120	2262	2403	2544	2686	2827
<b>65</b>	<b>3318</b>	1659	1825	1991	2157	2323	2488	2654	2820	2986	3152	3318
<b>70</b>	<b>3848</b>	1924	2116	2309	2501	2694	2886	3078	3271	3463	3656	3848
<b>75</b>	<b>4418</b>	2209	2430	2651	2872	3093	3313	3534	3755	3976	4197	4418
<b>80</b>	<b>5027</b>	2513	2765	3016	3267	3519	3770	4022	4273	4524	4776	5027
<b>85</b>	<b>5675</b>	2837	3121	3405	3689	3972	4256	4540	4824	5107	5391	5675
<b>90</b>	<b>6362</b>	3181	3499	3817	4135	4463	4771	5090	5408	5726	6044	6362
<b>95</b>	<b>7088</b>	3544	3898	4253	4607	4962	5316	5670	6025	6379	6734	7088
<b>100</b>	<b>7854</b>	3927	4320	4712	5105	5498	5890	6283	6676	7069	7461	7854



## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамов Е.И., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода. – Киев: "Техніка", 1977. – 317 с.
2. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.
3. Возняк Л.В., Гімер П.Р., Мердух М.І., Паневник О.В. Гідравліка: навчальний посібник. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2012. – 327 с
4. Гідравліка, гідро- та гідропневмоприводи. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт для студентів спеціальностей 133 Галузеве машинобудування, 131 Прикладна механіка/ Укл.: Кальченко В.В., Сіра Н.М., Кологойда А.В. — Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 69 с.
5. Гідравліка. Підручник. / В.А. Дідур, Д.П. Журавель, М.А. Палішкін [та ін.]; ред. В.А. Дідур. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 546 с.
6. Промисловий гідропривод: практ. порадник / З.Л. Фінкельштейн, О.М. Яхно, І.С. Корощупов, К.С. Коваленко; Донбас. держ. техн. ун-т, Нац. техн. ун-т України ("КП"). – Алчевськ; Київ: ДонДТУ, 2012. – 175 с.
7. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы. Справочник. – М.: "Машиностроение", 2-е издание, 1988. – 510 с.
8. Свешников В.К., Усов А.А. Станочные гидроприводы. Справочник. – М.: "Машиностроение", 1982. – 462 с.
9. Соколов В.І., Кроль О.С., Єпіфанова О.В. Гідравліка. Навчальний посібник. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. – 160 с.
10. Федорец В.А. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков. – К.: Вища шк., 1987. – 375 с.
11. Шольц Д. Пропорциональная гидравлика. Основной курс ТР 701. Учебник. – Киев: ДП "ФЕСТО", 2002. – 124 с.