

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія аеронавігації**

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ**

**ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

із навчальної дисципліни

«Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден та авіадвигунів**

**Вінниця 2022**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р № 1.

**Розробник:**

викладач циклової комісії аеронавігації, доцент, к.т.н. Павленко О. В.

**Рецензенти:**

1. викладач Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., старший науковий співробітник, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Тягній В. Г.
2. доцент кафедри автомобілів і тракторів Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського, к.т.н., Черненко С. М.

**1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами**  
**1.1 Розподіл часу навчальної дисципліни за темами**  
**(денна форма навчання)**

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Семестр № 6							
Тема № 1. Вступ. Поняття про рідину. Основні фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів	6	2	-	2	-	2	
Тема № 2. Основи гідростатики	16	4	-	8	-	4	ПКЕЗ № 1 за темами 1 і 2 на 30 хв.
Тема № 3. Основи кінематики і гідродинаміки рідини	8	2	-	2	-	4	
Тема № 4. Режими течії рідини. Поняття про кавітаційний режим течії рідини	8	2	-	2	-	4	ПКЕЗ № 2 за темами 3 і 4 на 30 хв.
Тема № 5. Гідравлічний опір в гідросистемах і його класифікація	10	2	-	4	-	4	ПЗ № 4 опитув. за темою № 5
Тема № 6. Витікання рідини через отвори і насадки	8	2	-	2	-	4	
Тема № 7. Гідравлічний розрахунок трубопроводів, побудова їх характеристик	14	4	-	4	-	6	ПКЕЗ № 3 за темами 5,6,7 на 30 хв.  МКР № 1 за темами 1 – 7

							Захист ІКЗ № 1 за темами 1 – 7
<b>Тема № 8.</b> Основні параметри гідромашин. Лопатні машини і їх характеристика	8	2	-	2	-	4	
<b>Тема № 9.</b> Об'ємні гідромашини.	8	2	-	2	-	4	ПКЕЗ № 4 за темами 8 і 9 на 30 хв.
<b>Тема № 10.</b> Гідророзподільники, регулююча і направляюча гідроапаратура	6	2	-	-	-	4	
<b>Тема № 11.</b> Допоміжні пристрої гідросистем, гідравлічні слідкуючі приводи і гідропідсилювачі.	6	2	-	-	-	4	ПКЕЗ № 5 за темами 10 і 11 на 30 хв.
<b>Тема № 12.</b> Системи розвантаження насосів і регулювання гідродвигунів. Типові схеми гідросистем і гідроприводів.	8	2	-	-	-	6	
<b>Тема № 13.</b> Загальні відомості, класифікація та принцип роботи пневматичних приводів. Типові схеми пневмосистем і пневмо-приводів.	12	2	-	4	-	6	ПЗ № 9, МКР-2 за темами 8...13
<b>Всього:</b>	<b>120</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>залік</b>

## 1.2 Розподіл часу навчальної дисципліни за темами (заочна форма навчання)

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Семестр № 5							
Тема № 1. Вступ. Поняття про рідину. Основні фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів	6	-	-	-	-	6	
Тема № 2. Основи гідростатики	11	1	-	-	-	11	ПКЕЗ № 1 за темами 1 і 2 на 30 хв.
Тема № 3. Основи кінематики і гідродинаміки рідини	7	1	-	-	-	7	
Тема № 4. Режими течії рідини. Поняття про кавітаційний режим течії рідини	9	-	-	1		9	.
Тема № 5. Гідравлічний опір в гідросистемах і його класифікація	11	1	-	1	-	11	.
Тема № 6. Витік рідини через отвори і насадки	4	-	-	-	-	4	
Тема № 7. Гідравлічний розрахунок трубопроводів, побудова їх характеристик	14	-	-	-	-	14	ПКЕЗ № 2 за темами 5,6,7 на 30 хв.
Тема № 8. Основні параметри гідромашин. Лопатні машини і їх характеристика	7	1	-	-	-	7	
Тема № 9. Об'ємні гідромашини.	8	-	-	-	-	8	
Тема № 10. Гідророзподільники, регулююча і направляюча гідроапаратура	8	-	-	-	-	8	
Тема № 11. Допоміжні пристрої гідросистем, гідравлічні слідкуючі	13	1	-	-	-	13	

приводи і гідропідсилювачі							
<b>Тема № 12.</b> Системи розвантаження насосів і регулювання гідро-двигунів. Типові схеми гідросистем і гідроприводів.	10	1	-	-	-	10	МКР № 1 за темами 1 – 12  Захист ІКЗ за темами 1 – 12
<b>Тема № 13.</b> Загальні відомості, класифікація та принцип роботи пневматичних приводів. Типові схеми пневмосистем і пневмо- приводів.	12	-	-	-	-	12	
<b>Всього:</b>	<b>120</b>	<b>6</b>		<b>2</b>		<b>112</b>	<b>залік</b>

## 2. Методичні вказівки до практичних занять

**Тема № 1.** Вступ. Поняття про рідину. Основні фізико-механічні властивості і параметри рідин і газів.

**Практичне заняття №1.** Основні фізичні параметри рідини і газу.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у визначенні стану робочих рідин при різних умовах навколишнього середовища.

Кількість годин - 2. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

### Навчальні питання:

1. Залежність фізичних параметрів рідини від зовнішнього тиску.
2. Залежність фізичних параметрів рідини від температури.
3. Зв'язок між фізичними параметрами, що характеризують стан рідини.

Література: [1, с. 8-18; 2, с. 11-17; 3, с.17-23; 4, с. 6-10; 5, 14-21].

### План проведення заняття:

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі. Необхідні для розв'язання задач довідникові дані наведено у додатку А.

II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Залежність фізичних параметрів рідини від зовнішнього тиску.

### Теоретичні відомості до розв'язання задач

Для розв'язання різноманітних задач по визначенню сили дії рідини (що перебуває в стані спокою або руху) на тверді тіла необхідно знати питому вагу  $\gamma$  або густину  $\rho$  рідини. Густина рідини – це маса  $m$  рідини в одиниці об'єму  $W$  [3]

$$\rho = \frac{m}{W}.$$

Питома вага рідини – це вага  $G$  рідини в одиниці об'єму  $W$  [3]

$$\gamma = \frac{G}{W}.$$

Питома вага це векторна величина. Вона не є параметром речовини. Її значення залежить від прискорення вільного падіння  $g$ . Оскільки  $G = mg$  [3]

$$\gamma = \rho g.$$

Величина, зворотна коефіцієнту об'ємного стиснення, являє собою об'ємний модуль пружності рідини  $E$ , Па

$$E = \frac{1}{\beta_p}.$$

*Стисливість* - це властивість рідини міняти свій об'єм під впливом тиску і характеризується коефіцієнтом об'ємного стиснення  $\beta_p$ , який являє собою відносну зміну об'єму, що припадає на одиницю зміни тиску [3]

$$\beta_p = -\frac{1}{W_0} \frac{dW}{dp}.$$

Розглядаючи кінцеві збільшення тиску  $\Delta p = p - p_0$  і зміна об'єму  $\Delta W = W - W_0$ , отримаємо [3]

$$W = W_0(1 - \beta_p \cdot \Delta p).$$

З огляду на вплив тиску на масову щільність рідини отримаємо вираз [3]

$$\rho = \rho_0 \frac{1}{(1 - \beta_p \cdot \Delta p)}.$$

Зворотним поняттям до стисливості є *пружність* – це властивість рідини поновлювати свій об'єм після припинення дії сил. Її описує *об'ємний модуль пружності* [3]

$$E = \frac{1}{\beta_p}.$$

Задачі.

1. Визначити відносну зміну масової щільності рідини при її стисканні від  $p_1$  до  $p_2$  Па, якщо коефіцієнт об'ємного стискання рідини рівняється  $\beta_p$  Па<sup>-1</sup>. Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

## Вихідні дані

Задача №1				
Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
$p_1=5 \cdot 10^5$	$p_1=5,5 \cdot 10^5$	$p_1=5,6 \cdot 10^5$	$p_1=5,7 \cdot 10^5$	$p_1=5,8 \cdot 10^5$
$P_2=10 \cdot 10^5$	$P_2=11 \cdot 10^5$	$P_2=11,2 \cdot 10^5$	$P_2=11,3 \cdot 10^5$	$P_2=12 \cdot 10^5$
$\beta_p=8,1 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=7,2 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,3 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,4 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$
Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10
$p_1=5,3 \cdot 10^5$	$p_1=5,4 \cdot 10^5$	$p_1=5,4 \cdot 10^5$	$p_1=6 \cdot 10^5$	$p_1=6,6 \cdot 10^5$
$P_2=11 \cdot 10^5$	$P_2=11,3 \cdot 10^5$	$P_2=12 \cdot 10^5$	$P_2=10 \cdot 10^5$	$P_2=13 \cdot 10^5$
$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,7 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,8 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,9 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=9 \cdot 10^{-10}$
Варіант 11	Варіант 12	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15
$p_1=4 \cdot 10^5$	$p_1=4,2 \cdot 10^5$	$p_1=4,3 \cdot 10^5$	$p_1=4,4 \cdot 10^5$	$p_1=5 \cdot 10^5$
$P_2=9 \cdot 10^5$	$P_2=9,5 \cdot 10^5$	$P_2=10 \cdot 10^5$	$P_2=10,5 \cdot 10^5$	$P_2=11 \cdot 10^5$
$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=7,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=9,5 \cdot 10^{-10}$
Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18	Варіант 19	Варіант 20
$p_1=3 \cdot 10^5$	$p_1=4 \cdot 10^5$	$p_1=5 \cdot 10^5$	$p_1=6 \cdot 10^5$	$p_1=7 \cdot 10^5$
$P_2=10 \cdot 10^5$	$P_2=12 \cdot 10^5$	$P_2=13 \cdot 10^5$	$P_2=14 \cdot 10^5$	$P_2=15 \cdot 10^5$
$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,55 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,9 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,5 \cdot 10^{-10}$	$\beta_p=8,3 \cdot 10^{-10}$

2. Визначити зміну тиску і масової густини в кінці стискання, при якому початковий об'єм рідини  $\Delta V$  зменшився на X%, об'ємний коефіцієнт стискання рівняється  $\beta_p$ , первинна масова густина складає  $\rho$ . Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

## Вихідні дані

Задача №2				
Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
$\Delta V=20\%$	$\Delta V=22\%$	$\Delta V=23\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$
$\beta_p$ вода	$\beta_p$ бензин	$\beta_p$ керосин	$\beta_p$ спирт	$\beta_p$ вода морська
$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська
Варіант 6	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10
$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$	$\Delta V=28\%$	$\Delta V=29\%$	$\Delta V=30\%$
$\beta_p$ вода	$\beta_p$ бензин	$\beta_p$ керосин	$\beta_p$ спирт	$\beta_p$ вода морська



$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$\Delta V=21\%$	$\Delta V=22\%$	$\Delta V=23\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$
$\beta_p$ вода	$\beta_p$ бензин	$\beta_p$ керосин	$\beta_p$ спирт	$\beta_p$ вода морська
$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$	$\Delta V=28\%$	$\Delta V=29\%$	$\Delta V=30\%$
$\beta_p$ вода	$\beta_p$ бензин	$\beta_p$ керосин	$\beta_p$ спирт	$\beta_p$ вода морська
$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська

3. Посудину заповнено рідиною об'ємом  $W_0$  (л), як зміниться об'єм рідини при збільшенні тиску на  $\Delta p$  (кГс/см<sup>2</sup>) і масова густина рідини. Коефіцієнт об'ємного стискання рівняється  $\beta_p$ , первинна масова густина  $\rho$ . Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

## Вихідні дані

<b>Задача №3</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$W_0=1000$	$W_0=1100$	$W_0=1200$	$W_0=1300$	$W_0=1400$
$\Delta p=150$	$\Delta p=160$	$\Delta p=170$	$\Delta p=180$	$\Delta p=180$
$\rho$ керосин	$\rho$ бензин	$\rho$ нафта	$\rho$ спирт	$\rho$ ацетон
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$W_0=1500$	$W_0=1600$	$W_0=1700$	$W_0=1750$	$W_0=1650$
$\Delta p=180$	$\Delta p=180$	$\Delta p=180$	$\Delta p=180$	$\Delta p=180$
$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$W_0=900$	$W_0=950$	$W_0=980$	$W_0=1250$	$W_0=1050$
$\Delta p=160$	$\Delta p=150$	$\Delta p=170$	$\Delta p=180$	$\Delta p=168$
$\rho$ масло м-е	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода чиста
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$W_0=1000$	$W_0=980$	$W_0=990$	$W_0=1300$	$W_0=1200$
$\Delta p=170$	$\Delta p=180$	$\Delta p=190$	$\Delta p=200$	$\Delta p=180$
$\rho$ вода	$\rho$ бензин	$\rho$ керосин	$\rho$ спирт	$\rho$ вода морська

4. Визначити зміну об'єму рідини з підвищенням тиску в циліндрі на  $p$  (кГс/см<sup>2</sup>), якщо перед цим рідина містилась в масивному товстостінному

циліндри з внутрішнім діаметром  $d$  (мм) і довжина  $l$  (дм). Модуль пружності рідини  $E$ . Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

## Вихідні дані

<b>Задача №4</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
P=30	P=35	P=40	P=45	P=50
d=30	d=35	d=45	d=50	d=55
l 60	l 70	l 80	l 90	l 100
E ацетон	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
P=28	P=30	P=32	P=36	P=38
d=35	d=38	d=41	d=43	d=44
l 60	l 50	l 180	l 190	l 110
E ацетон	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
P=22	P=25	P=28	P=32	P=35
d=40	d=45	d=45	d=53	d=58
l 160	l 70	l 100	l 60	l 110
E ацетон	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
P=30	P=35	P=40	P=45	P=50
d=40	d=45	d=45	d=53	d=58
l 60	l 85	l 80	l 90	l 100
E ацетон	вода	гліцерин	керосин	спирт

5. Визначити зміну тиску, при якому початковий об'єм рідини зменшився на  $X\%$ , об'ємний коефіцієнт стискання рівняється  $\beta_p$  ( $\text{м}^2/\text{Н}$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

## Вихідні дані

<b>Задача №5</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$\Delta V=22\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$	$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт

<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$\Delta V=22\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$	$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$\Delta V=22\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$	$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$\Delta V=22\%$	$\Delta V=24\%$	$\Delta V=25\%$	$\Delta V=26\%$	$\Delta V=27\%$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт

## 2. Залежність фізичних параметрів рідини від температури.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

*Температурне розширення* - це властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні її температури і характеризується коефіцієнтом температурного (об'ємного) розширення  $\beta_v$ , який являє собою відносну зміну об'єму рідини при зміні температури на  $1^\circ\text{C}$  при постійному тиску  $p = \text{const}$  [3]

$$\beta_t = \frac{1}{W_0} \frac{dW}{dT}.$$

Розглядаючи кінцеві збільшення об'єму  $\Delta W = W - W_0$  і температури  $\Delta T = T - T_0$ , Отримуємо формулу для визначення об'єму [3]

$$W = W_0(1 + \beta_t \cdot \Delta T).$$

З огляду на вплив температури на зміну щільності рідини отримаємо вираз [3]

$$\rho = \rho_0 \frac{1}{(1 + \beta_t \cdot \Delta T)}.$$

## Задачі

6. Визначити зміну об'єму в резервуарі при нагріванні її від температури  $t_1$  до  $t_2$  ( $^\circ\text{C}$ ). Первинний об'єм води рівняється  $W_0$  (л). Коефіцієнт об'ємного розширення в заданому інтервалі температур при тиску  $p$  (Па) рівняється  $\beta_t$  ( $1/^\circ\text{K}$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

## Вихідні дані

Задача №6				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$t_1=15^{\circ}\text{C}$	$t_1=10^{\circ}\text{C}$	$t_1=20^{\circ}\text{C}$	$t_1=25^{\circ}\text{C}$	$t_1=30^{\circ}\text{C}$
$t_2=60^{\circ}\text{C}$	$t_2=60^{\circ}\text{C}$	$t_2=70^{\circ}\text{C}$	$t_2=80^{\circ}\text{C}$	$t_2=85^{\circ}\text{C}$
$W_0=10000$	$W_0=11000$	$W_0=12000$	$W_0=13000$	$W_0=14000$
$p=2\cdot 10^5$	$p=2,2\cdot 10^5$	$p=2,3\cdot 10^5$	$p=2,4\cdot 10^5$	$P=2,5\cdot 10^5$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$t_1=15^{\circ}\text{C}$	$t_1=20^{\circ}\text{C}$	$t_1=25^{\circ}\text{C}$	$t_1=30^{\circ}\text{C}$	$t_1=35^{\circ}\text{C}$
$t_2=65^{\circ}\text{C}$	$t_2=67^{\circ}\text{C}$	$t_2=77^{\circ}\text{C}$	$t_2=86^{\circ}\text{C}$	$t_2=95^{\circ}\text{C}$
$W_0=14000$	$W_0=15000$	$W_0=13000$	$W_0=12000$	$W_0=11000$
$p=3\cdot 10^5$	$p=3,2\cdot 10^5$	$p=3,3\cdot 10^5$	$p=3,4\cdot 10^5$	$P=2,3\cdot 10^5$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$t_1=18^{\circ}\text{C}$	$t_1=19^{\circ}\text{C}$	$t_1=15^{\circ}\text{C}$	$t_1=10^{\circ}\text{C}$	$t_1=28^{\circ}\text{C}$
$t_2=63^{\circ}\text{C}$	$t_2=62^{\circ}\text{C}$	$t_2=74^{\circ}\text{C}$	$t_2=83^{\circ}\text{C}$	$t_2=82^{\circ}\text{C}$
$W_0=9000$	$W_0=95000$	$W_0=96000$	$W_0=10000$	$W_0=11000$
$p=2,1\cdot 10^5$	$p=2,2\cdot 10^5$	$p=2,4\cdot 10^5$	$p=2,5\cdot 10^5$	$P=2\cdot 10^5$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$t_1=15^{\circ}\text{C}$	$t_1=10^{\circ}\text{C}$	$t_1=20^{\circ}\text{C}$	$t_1=25^{\circ}\text{C}$	$t_1=30^{\circ}\text{C}$
$t_2=60^{\circ}\text{C}$	$t_2=60^{\circ}\text{C}$	$t_2=70^{\circ}\text{C}$	$t_2=80^{\circ}\text{C}$	$t_2=85^{\circ}\text{C}$
$W_0=14000$	$W_0=15000$	$W_0=13000$	$W_0=12000$	$W_0=11000$
$p=2\cdot 10^5$	$p=2,2\cdot 10^5$	$p=2,3\cdot 10^5$	$p=2,4\cdot 10^5$	$P,5=2\cdot 10^5$
бензин	вода	гліцерин	керосин	спирт

7. Мінеральне мастило підводиться до гідродвигуна при температурі  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) в кількості  $Q_w$  (л/с). За гідродвигуном температура масла рівняється  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Яка кількість мастила зливається з гідродвигуна, якщо його температурний коефіцієнт об'ємного розширення рівняється  $\beta_t$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

## Вихідні дані

Задача №7				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$t_1=30$	$t_1=35$	$t_1=32$	$t_1=33$	$t_1=31$
$t_2=90$	$t_2=95$	$t_2=98$	$t_2=96$	$t_2=97$
$Q_w=30$	$Q_w=32$	$Q_w=33$	$Q_w=34$	$Q_w=35$
$\beta_t=7,5 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,5 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,3 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,2 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,7 \cdot 10^{-4}$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$t_1=31$	$t_1=32$	$t_1=33$	$t_1=34$	$t_1=35$
$t_2=95$	$t_2=98$	$t_2=97$	$t_2=98$	$t_2=99$
$Q_w=28$	$Q_w=29$	$Q_w=31$	$Q_w=30$	$Q_w=31$
$\beta_t=8,2 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,7 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,2 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=6,4 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=6 \cdot 10^{-4}$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$t_2=95$	$t_2=98$	$t_2=97$	$t_2=98$	$t_2=99$
$t_2=90$	$t_2=95$	$t_2=98$	$t_2=96$	$t_2=97$
$Q_w=33$	$Q_w=36$	$Q_w=37$	$Q_w=38$	$Q_w=40$
$\beta_t=7,5 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,4 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,3 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,3 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,7 \cdot 10^{-4}$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$t_1=31$	$t_1=32$	$t_1=33$	$t_1=34$	$t_1=35$
$t_2=90$	$t_2=95$	$t_2=98$	$t_2=96$	$t_2=97$
$Q_w=30$	$Q_w=32$	$Q_w=33$	$Q_w=34$	$Q_w=35$
$\beta_t=7,5 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,4 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,3 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,3 \cdot 10^{-4}$	$\beta_t=7,7 \cdot 10^{-4}$

8. Визначити масову густину води при збільшенні температури від  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) до  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), коефіцієнт об'ємного розширення рівняється  $\beta_t$  ( $1/^{\circ}\text{K}$ ), масова густина при температурі  $t_2$  = рівняється  $\rho$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

## Вихідні дані

Задача №8				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$t_1=10$	$t_1=11$	$t_1=12$	$t_1=13$	$t_1=14$
$t_2=90$	$t_2=91$	$t_2=92$	$t_2=93$	$t_2=94$
$\beta_t=45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t=44 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t=45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t=43 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t=42 \cdot 10^{-5}$
$\rho=945$	$\rho=944$	$\rho=943$	$\rho=942$	$\rho=941$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$t_1=15$	$t_1=16$	$t_1=17$	$t_1=18$	$t_1=19$

$t_2 = 90$	$t_2 = 91$	$t_2 = 92$	$t_2 = 93$	$t_2 = 94$
$\beta_t = 44 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 46 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 47 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 48 \cdot 10^{-5}$
$\rho = 943$	$\rho = 944$	$\rho = 944$	$\rho = 942$	$\rho = 945$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$t_1 = 10$	$t_1 = 14$	$t_1 = 16$	$t_1 = 18$	$t_1 = 16$
$t_2 = 93$	$t_2 = 95$	$t_2 = 97$	$t_2 = 91$	$t_2 = 95$
$\beta_t = 45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 44 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 40 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 39 \cdot 10^{-5}$
$\rho = 945$	$\rho = 944$	$\rho = 943$	$\rho = 942$	$\rho = 941$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$t_1 = 11$	$t_1 = 13$	$t_1 = 14$	$t_1 = 19$	$t_1 = 20$
$t_2 = 90$	$t_2 = 91$	$t_2 = 93$	$t_2 = 93$	$t_2 = 92$
$\beta_t = 44 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 45 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 46 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 46 \cdot 10^{-5}$	$\beta_t = 45 \cdot 10^{-5}$
$\rho = 943$	$\rho = 944$	$\rho = 944$	$\rho = 942$	$\rho = 945$

9. Рівень мазуту у вертикальному циліндричному резервуарі діаметром  $d$  (см) за деякий час знизився на  $\Delta h$  (дм). Визначити масу і вагу витраченого мазуту, а також питомі об'єм і вагу, якщо масова густина при температурі навколишнього середовища  $t = 20^\circ\text{C}$  дорівнює  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

## Вихідні дані

Задача №9				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$d = 200$	$d = 210$	$d = 220$	$d = 230$	$d = 240$
$\Delta h = 8$	$\Delta h = 10$	$\Delta h = 12$	$\Delta h = 14$	$\Delta h = 16$
$\rho = 940$	$\rho = 941$	$\rho = 942$	$\rho = 943$	$\rho = 944$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$d = 250$	$d = 260$	$d = 270$	$d = 280$	$d = 290$
$\Delta h = 17$	$\Delta h = 18$	$\Delta h = 19$	$\Delta h = 20$	$\Delta h = 21$
$\rho = 945$	$\rho = 946$	$\rho = 947$	$\rho = 948$	$\rho = 949$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$d = 200$	$d = 210$	$d = 220$	$d = 230$	$d = 240$
$\Delta h = 17$	$\Delta h = 18$	$\Delta h = 19$	$\Delta h = 20$	$\Delta h = 21$
$\rho = 940$	$\rho = 941$	$\rho = 942$	$\rho = 943$	$\rho = 944$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$d = 250$	$d = 260$	$d = 270$	$d = 280$	$d = 290$

$\Delta h = 8$	$\Delta h = 10$	$\Delta h = 12$	$\Delta h = 14$	$\Delta h = 16$
$\rho = 945$	$\rho = 946$	$\rho = 947$	$\rho = 948$	$\rho = 949$

### 3. Зв'язок між фізичними параметрами, що характеризують стан рідини.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

*В'язкість* – це властивість рідини чинити опір відносному руху (зсуву) її шарів. Ця властивість проявляється в тому, що в рідині під час її руху між шарами виникають дотичні напруження. Під час течії в'язкої рідини вздовж твердої стінки відбувається гальмування потоку, обумовлене в'язкістю (рис. 2.1).

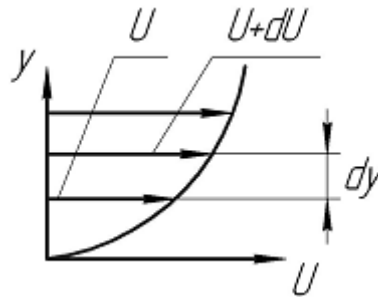


Рисунок 2.1 – Епюра швидкості течії рідини к перерізі

Швидкість  $U$  зменшується у міру зменшення відстані  $y$  від стінки [3]

$$\tau = \mu \frac{du}{dy},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;  $du$  – приріст швидкості, що відповідає приросту координати  $dy$ .

Градiєнт швидкості  $\frac{du}{dy}$  характеризує інтенсивність зсуву рідини в даній точці, коефіцієнт  $\mu$  – в'язкість крапельних рідин, що має розмірність  $\text{Нс/м}^2$  ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ).

На практиці частіше користуються коефіцієнтом кінематичної в'язкості [3]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Він вимірюється в  $\text{м}^2/\text{с}$ . Для води при  $t = 4^\circ\text{C}$   $\nu = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  [3].

У технічній системі в'язкість вимірюється в  $\text{см}^2/\text{с}$ ;  $1 \text{ см}^2/\text{с}$  називається стоксом (ст) –  $1 \text{ ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Кінематична в'язкість рідини при підвищенні температури монотонно зменшується. Для практичних розрахунків для визначення в'язкості можна застосовувати формулу [3]

$$\nu = \nu_0 e^{-\alpha(t-t_0)},$$

де  $\nu_0$  – в'язкість при температурі  $t_0$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт, що залежить від температури (наприклад, для масла  $\alpha = 0,025\text{--}0,035$ ) [3].

### Задачі

10. Об'єм  $W$  (см<sup>3</sup>) мінерального масла при температурі  $t$  (°C) витікає із віскозиметра Енглера за годину  $\tau$  (с). Водне число приладу рівняється  $\tau = 51$ с. Масова густина масла рівняється  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Визначити умовну в'язкість масла в °ВУ, коефіцієнт кінематичної в'язкості  $\nu$  і коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu$ . (градусів умовної в'язкості (°ВУ)). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

### Вихідні дані

Задача №10				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
W=100	W=150	W=200	W=220	W=250
t=20	t=25	t=30	t=35	t=40
$\tau$ =150	$\tau$ =300	$\tau$ =357	$\tau$ =370	$\tau$ =380
$\rho$ =910	$\rho$ =920	$\rho$ =915	$\rho$ =930	$\rho$ =925
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
W=150	W=160	W=220	W=230	W=250
t=22	t=28	t=32	t=35	t=40
$\tau$ =150	$\tau$ =300	$\tau$ =367	$\tau$ =390	$\tau$ =380
$\rho$ =920	$\rho$ =930	$\rho$ =935	$\rho$ =920	$\rho$ =928
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
W=200	W=250	W=300	W=320	W=350
t=23	t=24	t=33	t=32	t=33
$\tau$ =155	$\tau$ =350	$\tau$ =355	$\tau$ =375	$\tau$ =385
$\rho$ =913	$\rho$ =923	$\rho$ =913	$\rho$ =934	$\rho$ =924
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
W=100	W=150	W=200	W=220	W=250
t=24	t=24	t=27	t=37	t=24
$\tau$ =150	$\tau$ =300	$\tau$ =357	$\tau$ =370	$\tau$ =380
$\rho$ =913	$\rho$ =922	$\rho$ =915	$\rho$ =932	$\rho$ =925



11. Визначити масову густину, питому вагу і об'єм повітря при надлишковому тиску  $p_{\text{над}}$  (Па), температурі  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), атмосферному тиску  $p_a$  (мм. рт. ст.). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Вихідні дані

Задача №11				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$p_{\text{над}}=6500$	$p_{\text{над}}=6000$	$p_{\text{над}}=6100$	$p_{\text{над}}=6200$	$p_{\text{над}}=6300$
$t=350$	$t=310$	$t=320$	$t=330$	$t=340$
$p_a=755,8$	$p_a=745,8$	$p_a=755,8$	$p_a=765,8$	$p_a=725,8$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$p_{\text{над}}=6100$	$p_{\text{над}}=6110$	$p_{\text{над}}=6120$	$p_{\text{над}}=6130$	$p_{\text{над}}=6140$
$t=300$	$t=315$	$t=325$	$t=335$	$t=345$
$p_a=755,0$	$p_a=715,0$	$p_a=750,0$	$p_a=763,8$	$p_a=735,0$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$p_{\text{над}}=6120$	$p_{\text{над}}=6130$	$p_{\text{над}}=6140$	$p_{\text{над}}=6150$	$p_{\text{над}}=6200$
$t=355$	$t=315$	$t=325$	$t=335$	$t=345$
$p_a=740,8$	$p_a=742,8$	$p_a=743,8$	$p_a=744,8$	$p_a=745,8$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$p_{\text{над}}=6500$	$p_{\text{над}}=6000$	$p_{\text{над}}=6100$	$p_{\text{над}}=6200$	$p_{\text{над}}=6300$
$t=300$	$t=315$	$t=325$	$t=335$	$t=345$
$p_a=755,8$	$p_a=725,8$	$p_a=725,8$	$p_a=765,8$	$p_a=725,8$

12. Питому вагу рідини вимірюється з допомогою ареометра. Зовнішній діаметр трубки  $d$  (мм), діаметр кульки  $d_k$  (мм), вага ареометра  $G$  (Г). Визначити питому вагу рідини  $\gamma$ , якщо ареометр занурюється на глибину  $h$  (см). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Вихідні дані

Задача №12				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$d=10$	$d=15$	$d=20$	$d=25$	$d=30$
$d_k=30$	$d_k=35$	$d_k=40$	$d_k=45$	$d_k=50$

$G = 100$	$G = 150$	$G = 200$	$G = 225$	$G = 200$
$h = 20$	$h = 25$	$h = 28$	$h = 30$	$h = 350$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$d = 8$	$d = 10$	$d = 12$	$d = 14$	$d = 16$
$d_k = 20$	$d_k = 22$	$d_k = 24$	$d_k = 26$	$d_k = 28$
$G = 100$	$G = 140$	$G = 240$	$G = 235$	$G = 250$
$h = 20$	$h = 25$	$h = 28$	$h = 30$	$h = 35$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$d = 10$	$d = 15$	$d = 20$	$d = 25$	$d = 30$
$d_k = 30$	$d_k = 35$	$d_k = 40$	$d_k = 45$	$d_k = 50$
$G = 100$	$G = 150$	$G = 200$	$G = 225$	$G = 200$
$h = 25$	$h = 26$	$h = 30$	$h = 33$	$h = 35$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$d = 8$	$d = 10$	$d = 12$	$d = 14$	$d = 16$
$d_k = 20$	$d_k = 22$	$d_k = 24$	$d_k = 26$	$d_k = 28$
$G = 120$	$G = 180$	$G = 220$	$G = 235$	$G = 240$
$h = 26$	$h = 30$	$h = 33$	$h = 35$	$h = 46$

13. Визначити густину, питому вагу і питомий об'єм суміші, якщо до об'єму  $W_1$  (л) масла, густина  $\rho_1$  (кг/м<sup>3</sup>), долили гас густиною  $\rho_2$  (кг/м<sup>3</sup>) і отримали суміш об'ємом  $W_{cm}$  (л). Індивідуальні вихідні дані наведено у наступній таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

## Вихідні дані

Задача №13				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$W_1=4$	$W_1=6$	$W_1=8$	$W_1=10$	$W_1=12$
$\rho_1 = 850$	$\rho_1 = 855$	$\rho_1 = 860$	$\rho_1 = 865$	$\rho_1 = 870$
$\rho_2=800$	$\rho_2=810$	$\rho_2=820$	$\rho_2=830$	$\rho_2=840$
$W_{cm} = 15$	$W_{cm} = 16$	$W_{cm} = 17$	$W_{cm} = 18$	$W_{cm} = 19$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$W_1=14$	$W_1=16$	$W_1=18$	$W_1=20$	$W_1=22$
$\rho_1 = 850$	$\rho_1 = 865$	$\rho_1 = 870$	$\rho_1 = 875$	$\rho_1 = 880$
$\rho_2=805$	$\rho_2=815$	$\rho_2=825$	$\rho_2=835$	$\rho_2=845$
$W_{cm} = 20$	$W_{cm} = 21$	$W_{cm} = 22$	$W_{cm} = 23$	$W_{cm} = 24$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>

$W_1=4$	$W_1=6$	$W_1=8$	$W_1=10$	$W_1=12$
$\rho_1 = 850$	$\rho_1 = 855$	$\rho_1 = 860$	$\rho_1 = 865$	$\rho_1 = 870$
$\rho_2=800$	$\rho_2=810$	$\rho_2=820$	$\rho_2=830$	$\rho_2=840$
$W_{cm} = 15$	$W_{cm} = 16$	$W_{cm} = 17$	$W_{cm} = 18$	$W_{cm} = 19$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$W_1=4$	$W_1=6$	$W_1=8$	$W_1=10$	$W_1=12$
$\rho_1 = 850$	$\rho_1 = 855$	$\rho_1 = 860$	$\rho_1 = 865$	$\rho_1 = 870$
$\rho_2=800$	$\rho_2=810$	$\rho_2=820$	$\rho_2=830$	$\rho_2=840$
$W_{cm} = 20$	$W_{cm} = 21$	$W_{cm} = 22$	$W_{cm} = 23$	$W_{cm} = 24$

14. Визначити питомий об'єм ( $w$ ) і питому вагу ( $\gamma$ ) рідини, якщо масова густина її рівняється  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>), а також масу ( $m$ ) і вагу ( $G$ ), якщо виділений об'єм рідини рівняється  $W$  (л). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14

## Вихідні дані

<b>Задача №14</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$W=600$	$W=620$	$W=630$	$W=650$	$W=700$
$\rho = 850$	$\rho = 855$	$\rho = 860$	$\rho = 865$	$\rho = 870$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$W=730$	$W=750$	$W=780$	$W=800$	$W=850$
$\rho = 850$	$\rho = 865$	$\rho = 870$	$\rho = 875$	$\rho = 880$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$W=830$	$W=850$	$W=820$	$W=850$	$W=860$
$\rho = 858$	$\rho = 855$	$\rho = 860$	$\rho = 865$	$\rho = 870$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$W=600$	$W=580$	$W=570$	$W=390$	$W=420$
$\rho = 850$	$\rho = 855$	$\rho = 860$	$\rho = 865$	$\rho = 870$

15. В резервуарі знаходиться  $W$  (л) рідини, яка важить  $G$  (Н), визначити масову густина, питомий об'єм і вагу рідини, а також її масу. Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15

## Вихідні дані

Задача №15				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
W=600	W=620	W=630	W=650	W=700
G = 5510	G = 5800	G = 5810	G = 5990	G = 6455
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
W=500	W=520	W=530	W=550	W=560
G = 4635	G = 4790	G = 4885	G = 5073	G = 5232
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
W=400	W=420	W=430	W=450	W=460
G = 3685	G = 3872	G = 3956	G = 4143	G = 4236
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
W=300	W=320	W=330	W=350	W=360
G = 2763	G = 2945	G = 3037	G = 3224	G = 3315

16. Об'єм рідини знизився на  $\Delta W$  (л), визначити на скільки зменшилися маса і вага рідини, якщо масова густина рівняється  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>), а також питоми вагу і об'єм. Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.16.

Таблиця 2.16

## Вихідні дані

Задача №16				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$\Delta W=2500$	$\Delta W=2550$	$\Delta W=2600$	$\Delta W=2650$	$\Delta W=2700$
$\rho = 960$	$\rho = 950$	$\rho = 952$	$\rho = 953$	$\rho = 954$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$\Delta W=2750$	$\Delta W=2800$	$\Delta W=2850$	$\Delta W=2900$	$\Delta W=2950$
$\rho = 955$	$\rho = 956$	$\rho = 957$	$\rho = 958$	$\rho = 962$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$\Delta W=2400$	$\Delta W=2450$	$\Delta W=2530$	$\Delta W=2540$	$\Delta W=2550$
$\rho = 964$	$\rho = 965$	$\rho = 966$	$\rho = 968$	$\rho = 950$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$\Delta W=2650$	$\Delta W=2680$	$\Delta W=2720$	$\Delta W=2740$	$\Delta W=2760$
$\rho = 960$	$\rho = 960$	$\rho = 960$	$\rho = 960$	$\rho = 960$

17. Визначити на скільки градусів і у скільки разів підвищилася температура газу за шкалами Цельсія і Кельвіна, якщо при стисканні газу в

циліндрі двигуна температура підвищилась від температури  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) до  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.17.

Таблиця 2.17

## Вихідні дані

<b>Задача №17</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$t_1 = 15$	$t_1 = 20$	$t_1 = 25$	$t_1 = 23$	$t_1 = 26$
$t_2 = 460$	$t_2 = 450$	$t_2 = 465$	$t_2 = 470$	$t_2 = 475$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$t_1 = 18$	$t_1 = 22$	$t_1 = 28$	$t_1 = 15$	$t_1 = 13$
$t_2 = 450$	$t_2 = 480$	$t_2 = 450$	$t_2 = 450$	$t_2 = 450$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$t_1 = 19$	$t_1 = 23$	$t_1 = 23$	$t_1 = 11$	$t_1 = 23$
$t_2 = 453$	$t_2 = 480$	$t_2 = 460$	$t_2 = 460$	$t_2 = 450$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>
$t_1 = 20$	$t_1 = 24$	$t_1 = 14$	$t_1 = 19$	$t_1 = 15$
$t_2 = 470$	$t_2 = 490$	$t_2 = 470$	$t_2 = 475$	$t_2 = 485$

18. Визначити на скільки і у скільки разів підвищилась швидкість звуку у повітрі, якщо при стисканні його в циліндрі двигуна температура підвищилась від температури  $t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) до температури  $t_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Індивідуальні вихідні дані наведено у таблиці 2.18.

Таблиця 2.18

## Вихідні дані

<b>Задача №18</b>				
<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>
$t_1 = 15$	$t_1 = 20$	$t_1 = 25$	$t_1 = 23$	$t_1 = 26$
$t_2 = 760$	$t_2 = 750$	$t_2 = 765$	$t_2 = 770$	$t_2 = 775$
<i>Варіант 6</i>	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>
$t_1 = 18$	$t_1 = 22$	$t_1 = 28$	$t_1 = 15$	$t_1 = 13$
$t_2 = 750$	$t_2 = 780$	$t_2 = 750$	$t_2 = 750$	$t_2 = 750$
<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>
$t_1 = 19$	$t_1 = 23$	$t_1 = 23$	$t_1 = 11$	$t_1 = 23$
$t_2 = 753$	$t_2 = 780$	$t_2 = 760$	$t_2 = 760$	$t_2 = 750$
<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>	<i>Варіант 19</i>	<i>Варіант 20</i>

$t_1 = 20$	$t_1 = 24$	$t_1 = 14$	$t_1 = 19$	$t_1 = 15$
$t_2 = 770$	$t_2 = 790$	$t_2 = 770$	$t_2 = 775$	$t_2 = 785$

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Що таке питома маса і питома вага? Який між ними зв'язок?
2. Що таке стислість, пружність і якими параметрами вони характеризуються?
3. Що таке динамічна і кінематична в'язкість? Який зв'язок між ними?

## Тема № 2. Основи гідростатики

**Практичне заняття №2.** Поняття про гідростатичний тиск, основне рівняння гідростатики.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у використанні основного рівняння гідростатики для вирішення інженерних задач; отримати розуміння методів вимірювання тиску.

Кількість годин - 2. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

### Навчальні питання:

1. Методи вимірювання тиску.
  2. Використання закону Паскаля у техніці
- Література: [2, с. 21-29; 3, с.24-29; 4, с. 11-23].

### План проведення заняття:

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Методи вимірювання тиску

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Частини рідини відчувають дію сил тяжіння як вище розташованих частинок, так і зовнішніх сил, діючих по поверхні рідини. Дія цих сил викликає в середині рідини напруження, що називається *гідростатичним тиском*.

Розрізняють чотири види тиску:

- абсолютний  $P$ ;
- надлишковий  $P_{\text{над}}$ ;
- вакууметричний  $P_{\text{вак}}$ ;
- на вільній поверхні рідини  $P_0$ .

В найбільш розповсюдженому випадку, коли діє лише сила ваги, гідростатичний тиск  $P$ , Па, в точці, яка знаходиться на глибині  $h$ , м, визначається за основним рівнянням гідростатики [2]

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h,$$

де  $P_0$  – тиск на вільній поверхні рідини, Па;  $\rho$  – густина рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

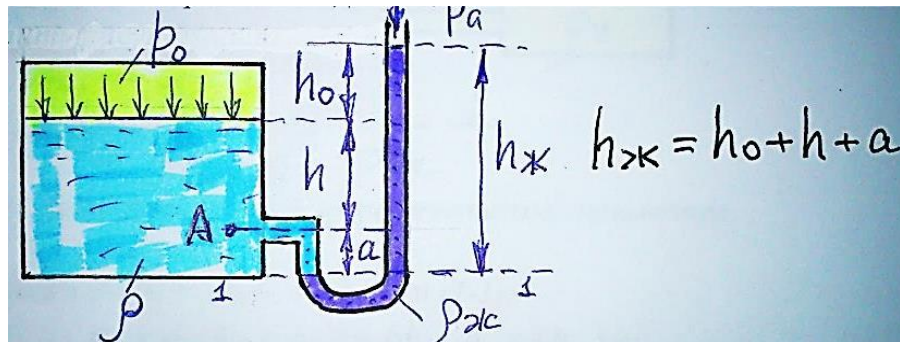
Зовнішній тиск  $P_0$ , який прикладений до вільної поверхні рідини, передається всім точкам цієї рідини по всіх напрямках однаково (закон Паскаля).

Якщо  $P_0 = P_{\text{атм}}$  (атмосферний тиск), то основне рівняння гідростатики набуде вигляду [2]

$$P = \rho \cdot g \cdot h.$$

*Використання п'єзометрів для вимірювання тиску.*

Вимірювальна трубка заповнюється ртуттю або іншою рідиною, що має більшу щільність, ніж щільність вимірюваної рідини (рис. 2.2).



$h_{\text{ж}}$  – різниця рівнів рідини манометра в правому і лівому колінах трубки, мм;  $a$  – різниця висот між місцем виміру тиску і поверхнею розділу рідини манометра і вимірюваної рідини, мм.

Рисунок 2.2 – Схема установки U-подібного манометра

Складемо умову рівноваги рідини щодо базової лінії (1-1)

$$p_0 + \rho g (h + a) = p_a + \rho_{\text{ж}} g h_{\text{ж}}$$

$$p_0 + \rho g h = p_a + \rho_{\text{ж}} g h_{\text{ж}} - \rho g a \quad \text{або} \quad p_{\text{абс.}} = p_a + p_{\text{над.}}$$

Звідси тиск [2]

$$p_0 = p_a + \rho_{\text{ж}} g h_{\text{ж}} - \rho g (h + a).$$

*Приклад розв'язку задач.*

Визначити тиск на вільну поверхню у закритій посудині з бензином, рис. 2.3, якщо рівень рідини у відкритому п'єзометрі вище вільної поверхні на  $h=2\text{м}$ . Атмосферний тиск дорівнює  $100\text{ кПа}$ .

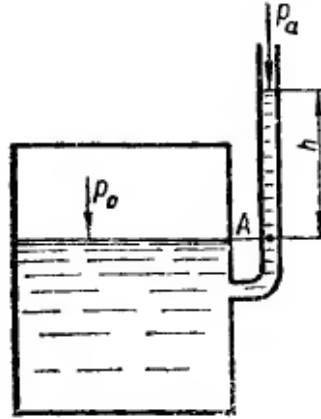


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема

Використаємо основне рівняння гідростатики

$$p_0 = p_a + \rho \cdot g \cdot h = 100000 \text{ (Па)} + 750 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ (м/с}^2\text{)} \cdot 2 \text{ м} = \\ = 100000 + 14700 = 114700 \text{ Па.}$$

#### Задачі

1. Визначити силу тиску на вільну поверхню в закритій посудині, якщо рівень рідини у відкритому п'єзометрі вище рівня рідини в посудині на  $h$  (см), а атмосферний тиск рівняється  $p_a$  (гПа). ( $10^2$  Па, гектопаскаль, *гПа*), масова густина рідини рівняється  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Вихідні дані подано у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19

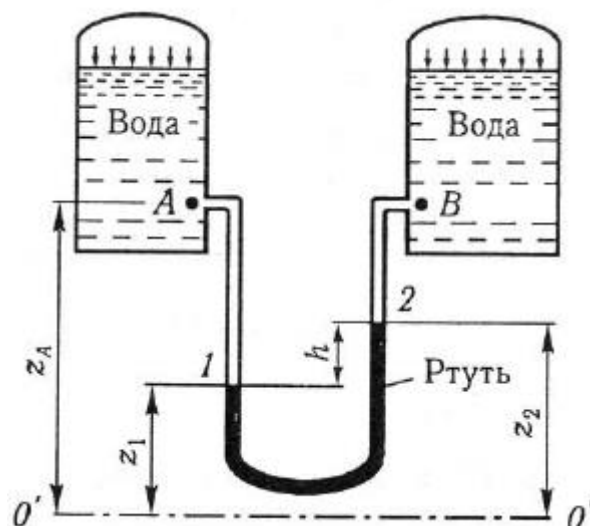
#### Вихідні дані

<b>Задача № 1</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
$h$	200	220	230	240	250	260
$p_a$	1010	1000	1100	1010	1015	1018
$\rho$	700	720	730	740	750	755
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
$h$	270	280	290	210	230	235
$p_a$	1010	1016	1018	1010	1000	1100
$\rho$	730	725	750	780	790	800
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$h$	245	255	265	275	285	205
$p_a$	1010	1015	1018	1010	1016	1018



$\rho$	810	830	836	843	752	760
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

2. Визначити різницю тисків у резервуарі А і В (за рисунком нижче), заповнений водою. Різниця рівнів ртуті в диференційному манометрі  $h$  (мм). Густина ртуті  $\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг / м}^3$ , густина води  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг / м}^3$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.20.

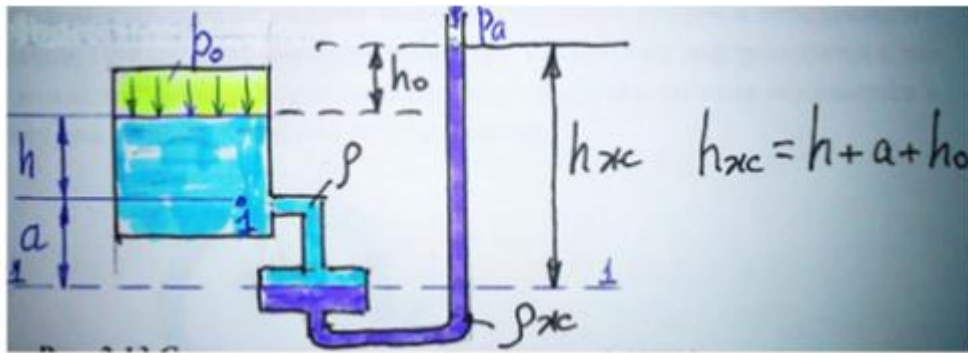


Таблиця 2.20

Вихідні дані

Задача № 2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
h	50	55	60	65	70	53
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
h	54	55	56	57	58	59
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
h	63	64	66	68	70	48
	Варіант 19	Варіант 20	Варіант 21	Варіант 22	Варіант 23	Варіант 24
h	53	54	56	58	59	78

3. Визначити положення межі розділу двох рідин відносно вільних поверхонь, якщо дві сполучені посудини А і В (за рисунком нижче) заповнені двома рідинами з густиною  $\rho_A = 900 \text{ кг / м}^3$ ,  $\rho_B = 1000 \text{ кг / м}^3$ , а різниця рівнів вільних поверхонь складає  $h = 10 \text{ см}$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.21.



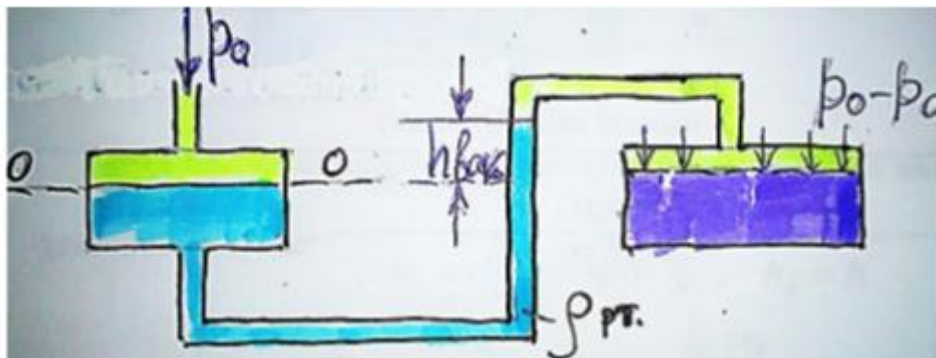
Розрахункова схема до задачі 3

Таблиця 2.21

## Вихідні дані

Задача № 3						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$\rho_A$	900	920	930	940	950	960
$h$	10	12	13	14	15	16
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$\rho_A$	970	980	925	780	790	795
$h$	17	18	19	10	12	13
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$\rho_A$	800	820	840	860	880	900
$h$	14	15	16	17	18	19

4. Визначити тиск на вільній поверхні резервуару, якщо атмосферний тиск  $p_A$  (Па), масова густина рідини  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>), а висота між рівнями вакуумметра і вимірювальної трубки рівняється  $h_{\text{вак}}$  (см). Вихідні дані подано у таблиці 2.22. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Розрахункова схема до задачі 4

Таблиця 2.22

## Вихідні дані

Задача № 4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$p_A$	98200	98100	98120	98130	98140	98150
$\rho$	13600	12100	12200	12300	12400	12500
$h_{\text{вак}}$	10	11	12	13	14	15
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$p_A$	98200	98210	98215	98230	98130	98130
$\rho$	13600	13700	13800	13620	12130	12230
$h_{\text{вак}}$	16	17	18	10	11	12
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$p_A$	98134	98144	98250	98230	98220	98210
$\rho$	12340	12444	12550	13650	13750	13850
$h_{\text{вак}}$	13	14	15	16	17	18
	Варіант 19	Варіант 20	Варіант 21	Варіант 22	Варіант 23	Варіант 24
$p_A$	97134	98244	98350	98240	98225	98255
$\rho$	12345	12454	12555	13654	13755	13852
$h_{\text{вак}}$	13	15	14	15	17	18

5. Визначити п'єзометричний ( $H_p$ ) і гідростатичний ( $H_s$ ) напори в резервуарі, якщо геометрична висота дорівнює  $y$  (см), атмосферний тиск рівняється  $p_a$  (МПа), тиск на вільній поверхні резервуара рівняється  $p_0$  (кПа), рідина піднялась в п'єзометричній трубці на  $h$  (см), масова густина рідини  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Вихідні дані подано у таблиці 2.23.

Таблиця 2.23

## Вихідні дані

Задача № 5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$y$	10	12	13	14	15	16
$p_a$	0,1	0,11	0,11	0,12	0,09	0,09
$p_0$	103	101	102	103	101	102
$h$	12	13	14	15	16	17
$\rho$	960	970	975	980	985	990
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$y$	17	18	19	8	9	10

$p_a$	0,1	0,11	0,11	0,1	0,11	0,11
$p_0$	103	100	103	103	101	102
$h$	18	18	18	14	18	16
$\rho$	995	960	970	963	973	975
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$y$	11	12	13	14	15	16
$p_a$	0,12	0,09	0,09	0,1	0,11	0,11
$p_0$	103	101	102	103	100	103
$h$	17	15	14	13	15	16
$\rho$	983	985	993	995	965	975

## 2. Використання закону Паскаля у техніці

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Головною властивістю гідростатичного тиску є силова дія на стінки, дно і кришку посудини, яка характеризується тиском [2]

$$p = F / s,$$

де  $F$  – сила, що припадає на одиницю площі поверхні  $s$ .

Отже гідростатичний тиск в будь-якій точці рідини діє однаково по всіх напрямкам.

Гідравлічний прес складається з двох камер А і В, які з'єднані трубопроводом (рис. 2.3). У кожній камері є поршні. У меншій поршень  $\Pi_1$  із площею  $S_1$ , у більшій –  $\Pi_2$  із площею  $S_2$ .

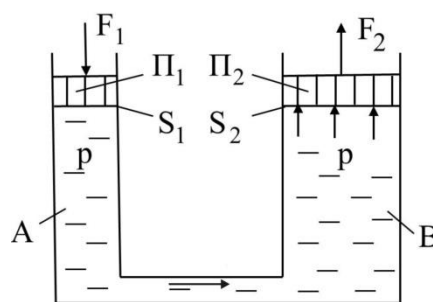


Рисунок 2.4 – Схема гідравлічного преса

До поршня  $\Pi_1$  за допомогою важеля прикладена сила  $F_1$ . Тиск, який виникає під поршнем, дорівнює  $p = \frac{F_1}{S_1}$ . За законом Паскаля тиск  $p$  передається однаково всім точкам рідини, зокрема і на поверхню поршня  $\Pi_2$ . При цьому створюється сила  $F_2$  [2]

$$F_2 = pS_2.$$

Сила  $F_2$  називають *пресовою*. Вона може пресувати тіло або піднімати його вгору.

Таким чином сила пресу дорівнює [2]

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1}.$$

Тобто сила  $F_2$  у стільки разів більша від сили  $F_1$ , прикладеної до меншого поршня, у скільки разів площа  $S_2$  більша від площі  $S_1$ . Підбором площ  $S_1$  і  $S_2$  можна одержати необхідне збільшення сили  $F_2$ .

Гідравлічний прес застосовують при обробці металів тиском (пресуванні, штампуванні).

### Задачі

6. Визначити силу стискання пресу, якщо діаметр великого поршня рівняється  $D$  (см), діаметр малого поршня рівняється  $d$  (мм). Зусилля, що прикладене до вільного кінця важеля рівняється  $F$  (Н), коефіцієнт корисної дії малого поршня складає  $\eta = 0,85$ . Передавальне число важеля  $U$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.24.

Таблиця 2.24

### Вихідні дані

Задача № 6						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
D	50	60	55	55	65	70
d	20	20	25	20	20	28
F	250	280	270	260	255	260
U	3	2	2,5	1,5	2	2,5
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
D	76	70	68	54	64	56
d	30	28	22	22	24	26
F	265	300	320	250	285	275
U	2,35	3,5	1,5	3	2,2	2,5
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
D	75	66	76	80	72	78
d	28	24	26	32	30	32
F	265	255	265	265	310	320
U	1,5	2,6	2,5	2,35	3,6	1,5

7. Визначити силу тиску на дно резервуара, якщо діаметр дна резервуара  $D$  (дм), діаметр поршня  $d$  (см) до якого прикладена зовнішня сила  $P$  (Н). Висота заповнення резервуара водою  $H$  (м), тертям поршня з стінкою резервуара можна знехтувати, густина води  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.25.

Таблиця 2.25

Вихідні дані						
Задача № 7						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$D$	10	11	12	13	14	15
$d$	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$P$	3000	2500	2300	2450	2550	2600
$H$	2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$D$	16	17	18	19	20	11
$d$	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
$P$	2400	2380	2360	2600	2700	1800
$H$	2,8	2,9	3	2,2	2,4	2,3
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$D$	12	13	14	15	16	17
$d$	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0
$P$	1900	2000	2300	2400	2500	2600
$H$	2,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

8. Визначити висоту на яку може підняти воду паровий поршень прямої дії, якщо манометричний тиск в паровому циліндрі  $p$  (Па), діаметр поршня циліндра  $d$  (см), діаметр водного циліндра  $D$  (см). Вихідні дані подано у таблиці 2.26.

Таблиця 2.26

Вихідні дані						
Задача № 8						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$p$	$2,5 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$
$d$	12	10	11	12	13	14

D	20	24	26	28	30	32
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
p	$2,6 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^5$	$2,8 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$
d	15	16	17	12	10	11
D	36	38	70	24	25	26
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
p	$3,3 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$	$3,7 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$
d	12	13	14	15	16	17
D	28	30	32	34	36	38

### III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Назвіть сили, які діють в рідині?
2. Що таке гідростатичний тиск? Яка його розмірність?
3. Що таке п'єзометрична висота?
4. Запишіть основне рівняння гідростатики.

### Тема № 2. Основи гідростатики

#### Практичне заняття №3. Сили гідростатичного тиску на стінки посудин.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у визначенні навантажень, яку створює рідина на інженерні конструкції.

Кількість годин - 4. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

#### Навчальні питання:

1. Визначення сили тиску на плоску поверхню.
  2. Визначення сили тиску на криволінійну поверхню.
  3. Визначення показників міцності трубопроводів
- Література: [2, с. 30-32; 3, с.38-44; 4, 26-36].

#### План проведення заняття:

##### I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

##### II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Визначення сили тиску на плоску поверхню.

### Теоретичні відомості до розв'язання задач

Повна сила, що діє на плоску стінку, дорівнює добутку величини змоченої площі стінки  $\omega_{зм}$  на гідростатичний тиск в її центрі ваги [2]

$$P = (P_0 + \rho \cdot g \cdot h) \cdot \omega_{зм}.$$

У відкритій посудині при  $P_0 = 0$  повна сила тиску [2]

$$P = \rho \cdot g \cdot h_{ц.в.} \cdot \omega_{зм},$$

де  $h_{ц.в.}$  – глибина занурення центра ваги площини, м;  $\omega_{зм}$  – змочена площа стінки, м<sup>2</sup>.

Точка прикладання сили  $P$  називається центром тиску. Центр тиску лежить нижче центра ваги стінки. Для прямокутної стінки, наприклад, центр ваги знаходиться на відстані половини висоти від основи, а центр тиску – на відстані однієї третини висоти.

Точку прикладення рівнодійної сил тиску рідини, тобто положення центра тиску, знайдемо спираючись на рис. 2.5.

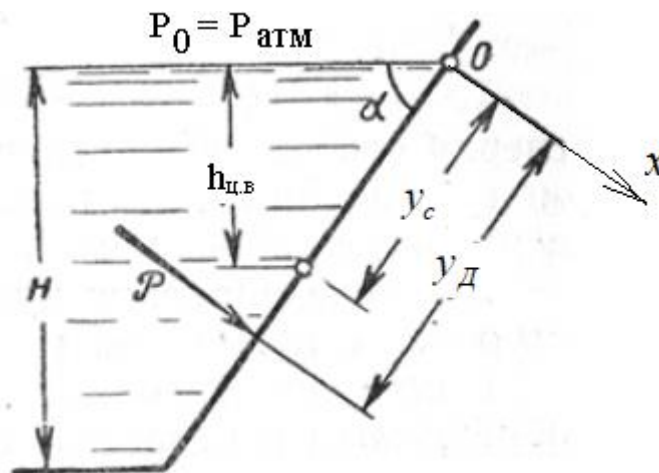


Рисунок 2.5 – Схема до визначення центру тиску

Точку прикладення сили надлишкового тиску визначають за формулою [2]

$$y_D = y_c + \frac{I_0}{y_c \cdot \omega},$$

де  $I_0$  – момент інерції площі змоченої поверхні відносно горизонтальної осі, яка проходить через центр ваги;  $y_c$  – центр ваги площі змоченої поверхні плоскої фігури.

Момент інерції площі відносно *горизонтальної осі, яка проходить через центр ваги*  $I_0$  є довідниковою інформацією (див. додаток Б).

### Задачі



1. Визначити силу тиску води на плоску вертикальну стінку та положення центру тиску. Стінка прямокутна з основою  $b$  (м) і висота  $H$  (м), верх стінки збігається з вільною поверхнею рідини, масова густина  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Вихідні дані подано у таблиці 2.27.

Таблиця 2.27

## Вихідні дані

Задача № 1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$b$	5	5,5	6	6,5	7	7,5
$H$	8	7	7,5	6,6	6,3	5
$\rho$	1000	800	830	840	850	860
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$b$	8	8,5	9	8,8	8,6	8,3
$H$	6	4,5	5	6	5	5,5
$\rho$	880	900	960	960	970	940
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$b$	8,0	7,8	7,6	7,4	7,0	6,3
$H$	7	7,5	3,9	4,5	4	5
$\rho$	930	920	900	880	860	840

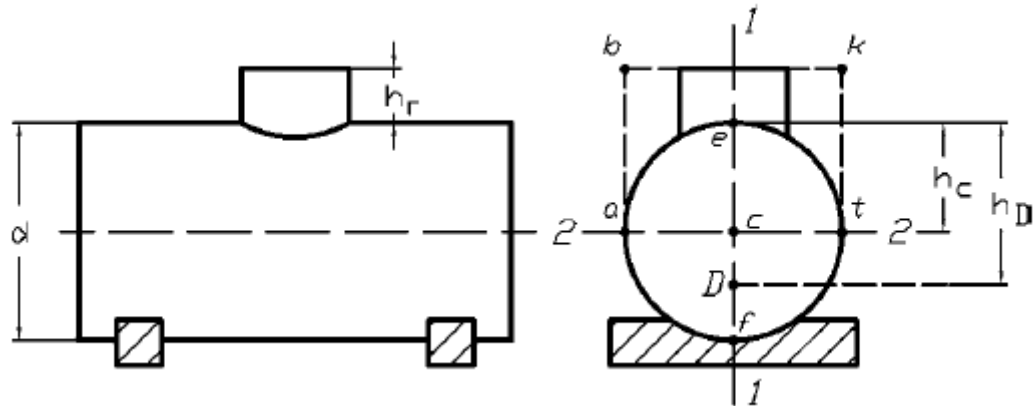
2. Визначити силу тиску на дно резервуара, якщо діаметр днища  $D$  (м), висота заповнення резервуара водою  $H$  (м), густина води  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>. Вихідні дані подано у таблиці 2.28.

Таблиця 2.28

## Вихідні дані

Задача № 2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$D$	1	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$H$	2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$D$	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$H$	2,8	2,9	3,0	3	3,5	4,0
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$D$	2,7	1	2	3	1,5	2,5
$H$	4,5	5	3,3	3,5	2,6	2,8

3. Визначити силу сумарного тиску на торцеву плоску стінку циліндричної цистерни, що стоїть вертикально, діаметром  $d$  (м) і точку її прикладення. Висота горловини  $h_r = 0,6$  м. Цистерна заповнена бензином до верху горловини. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.29.

Таблиця 2.29

Вихідні дані

Задача №3						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
d	1,5	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
d	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
d	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7
	Варіант 19	Варіант 20	Варіант 21	Варіант 22	Варіант 23	Варіант 24
d	3,25	3,1	3,0	3,8	3,65	3,75

## 2. Визначення сили тиску на криволінійну поверхню

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Окремим випадком криволінійної стінки є стінки циліндричних резервуарів, барабанів котлів, труб та інші. Повна сила тиску, що діє на циліндричну поверхню, рис. 2.6 [2].

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2},$$

де  $P_x$  - горизонтальна складова, яка дорівнює силі тиску рідини на вертикальну проекцію циліндричної поверхні,  $H$ ;  $P_y$  - вертикальна складова сили тиску,  $H$ , яка дорівнює силі тяжіння, що діє в об'ємі тіла тиску  $V$ .

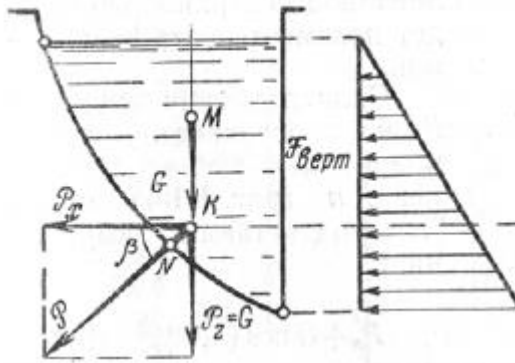


Рисунок 2.6 – Сила тиску на криволінійну поверхню

Горизонтальна складова сили тиску у загальному випадку [2]

$$P_x = (P_0 + \rho \cdot g \cdot h_{цв}) \cdot \omega_{верт.}$$

Горизонтальна складова сили тиску за умови, що  $P_0 = P_{атм}$  [2]

$$P_x = \rho \cdot g \cdot h_{цв} \cdot \omega_{верт.}$$

де  $h_{цв}$  - глибина центра ваги площі вертикальної проекції криволінійної поверхні;  $\omega_{верт.}$  - площа вертикальної проекції криволінійної поверхні.

Вертикальна складова сили тиску [2]

$$P_y = \rho \cdot g \cdot V.$$

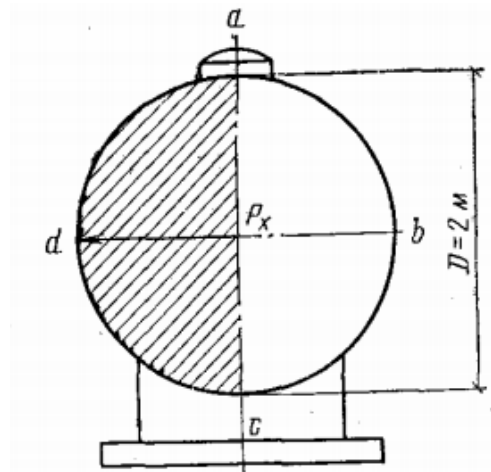
Об'ємом тіла тиску  $V$  називається об'єм рідини, який обмежено зверху вільною поверхнею рідини, знизу - розглядуваною криволінійною поверхнею, а з боків - вертикальною поверхнею, яка проведена через периметр, що обмежує стінку.

Напрям повної сили тиску  $P$  визначається кутом, який утворюється вектором  $P$  з горизонтальною площиною [2]

$$\text{tg} \beta = P_y / P_x.$$

#### Задача

4. Горизонтальна металева цистерна круглого перетину діаметром  $D$  (м) і довжиною  $l$  (м) повністю заповнена мінеральним маслом (питома вага  $\gamma = 9 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$ ), Тиск на поверхні масла дорівнює атмосферному. Слід визначити силу тиску масла на внутрішню криволінійну поверхню цистерни, кут нахилу рівнодіючої. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Розрахункова схема до задачі 4

Вихідні дані подано у таблиці 2.30.

Таблиця 2.30

## Вихідні дані

Задача №4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
D	2	2	2	2,5	2,8	3,0
l	10	4	5	5	5,3	5,6
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
D	3,3	3,6	3,8	2,0	2,2	2,3
l	5,8	6,0	6,2	7	7,2	7,5
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
D	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4
l	8,0	8,5	9	9,5	10	11

## 3. Визначення показників міцності трубопроводів.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

*Поняття про розрахунок стінок трубопроводу на міцність.*

Розглянемо поперечний переріз круглої труби на яке діє внутрішній гідростатичний тиск ( $p$ ). Рівнодіюча сил тиску  $P$  прагне відірвати одну половину перерізу труби від іншої по лінії  $BC$ , тому в перерізі  $BC$  виникають сили опору матеріалу стінок трубки  $T$  (рис 2.7).

Сила тиску  $P$  на циліндричну поверхню труби (див. пункт про силу тиску на криволінійну поверхню) як добуток тиску  $p$  на площу вертикальної проекції криволінійної поверхні [2]

$$P = p \cdot S = p \cdot d \cdot l,$$

$$S = d \cdot l,$$

де  $d$  - внутрішній діаметр труби, м;  $l$  - довжина відрізка труби, м.

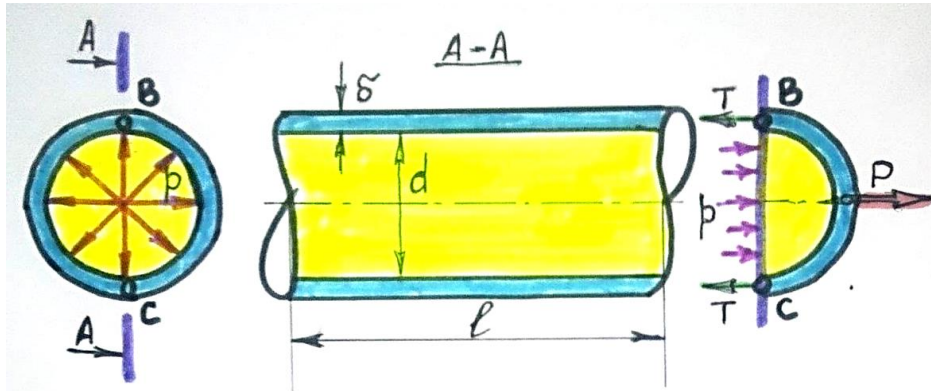


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема прикладення результуючої сили тиску на криволінійну поверхню труби

Сила опору матеріалу в перерізі  $BC$  дорівнює [2]

$$T = [\sigma] \cdot \delta \cdot l,$$

де  $[\sigma]$  - допустиме напруження міцності матеріалу, Па;  $\delta$  - розрахункова товщина стінки труби, м.

Із рівняння рівноваги в перерізі  $BC$  [2]

$$P - 2T = 0,$$

$$p \cdot d \cdot l - 2 [\sigma] \delta \cdot l,$$

звідси товщина стінки труби [2]

$$\delta = \frac{p \cdot d}{2[\sigma]_d}$$

Фактична товщина стінки повинна бути більшою чим розрахункова на величину компенсації на корозію.

#### Задачі

5. По сталевому трубопроводу діаметром  $d$  (м) подається вода під тиском  $p$  (МПа). Визначити напруження в стінці труби, якщо товщина її  $\delta$  (мм). Вихідні дані подано у таблиці 2.31.

Таблиця 2.31

#### Вихідні дані

Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$d$	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0
$p$	5,0	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
$\delta$	15	16	17	18	19	20
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$d$	1,1	1,2	1,3	0,5	0,54	0,56

p	5,8	5,9	6,0	3,0	3,2	3,6
$\delta$	11	12	13	8	10	12
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	0,58	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68
p	3,8	4,0	4,3	4,6	4,8	5,0
$\delta$	14	16	18	20	6	5

6. Визначити, який тиск може витримати стінка труби з внутрішнім діаметром  $d$  (см) по якому протікає рідина, якщо граничне напруження на розтягування матеріалу  $[\sigma]$  (МПа), товщина стінки труби  $\delta$  (мм), запас товщина стінок на корозію  $\delta_k = 1$  мм. Вихідні дані подано у таблиці 2.32.

Таблиця 2.32

## Вихідні дані

<b>Задача №6</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
d	50	55	58	62	64	66
$[\sigma]$	45	60	80	90	96	100
$\delta$	6	4	3	3	3,5	2
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
d	68	70	72	48	50	55
$[\sigma]$	108	110	116	60	70	80
$\delta$	2,5	2,8	3	6	4	3
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	60	64	68	70	74	76
$[\sigma]$	90	100	120	126	115	98
$\delta$	3	3,5	2	2,5	2,8	3

## III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Які сили діють на пласку стінку за умови, що  $P_0 = P_{\text{атм}}$ ?
2. Що таке центр тиску і де він знаходиться?
3. Які сили тиску діють на криволінійну поверхню?
4. Що таке тіло тиску?

## Тема № 2. Основи гідростатики

### Практичне заняття №4. Закон Архімеда і відносна рівновага рідини.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навичку у визначенні властивостей взаємодії твердих тіл і рідини.

Кількість годин - 2. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

#### Навчальні питання:

1. Закон Архімеда, плавучість тіл, остійність.
2. Відносна рівновага рідини в посудині при її рівномірному обертальному русі

Література: [2, с. 39-45, с. 32-38; 3, с. 44-53, с. 34-38; 4, 36-40, с. 22-25].

#### План проведення заняття:

##### I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

##### II. Порядок проведення основної частини заняття.

##### 1. Закон Архімеда, плавучість тіл, остійність.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

На тіло, занурене в рідину, діє виштовхуюча сила, спрямована вертикально вгору і рівна вазі рідини в об'ємі  $V$ , витіснення тілом [9]

$$P = \rho g V .$$

Ця сила є результуючою сил тиску рідини на занурене в неї тіло. Вона проходить через центр ваги витісненого об'єму рідини, який називається центром водотоннажності (на рис. 2.8 точка D). Співвідношення між вагою тіла  $G$  і виштовхує силою  $P$  визначає три умови плавання:

$G > P$  - тіло тоне;

$G < P$  - тіло спливає;

$G = P$  - тіло плаває, причому тіло плаває на вільній поверхні рідини при частковому зануренні його в рідину і в підводному стані при повному зануренні.





Момент інерції площі перерізів  $I_o$  є довідниковою інформацією (див. додаток Б).

Формулу (5.3) можна записати так [9]

$$h_M = R_M - e,$$

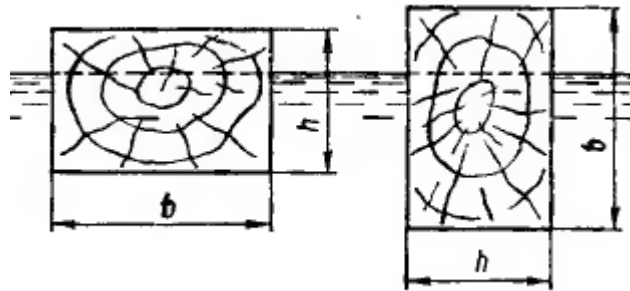
де  $R_M$ - метацентричної радіус [9],

$$R_M = \frac{I_o}{V}.$$

Таким чином, положення тіла при  $h_i > 0$  - остійне,  $h_i < 0$  - не остійне.

### Задачі

1. Прямокутний дерев'яний брус довжиною  $l$  (м), шириною  $b$  (см) і заввишки  $h = 25$  см щільністю  $\rho_d = 750$  кг / м<sup>3</sup> плаває по воді. Визначити: а) остійність бруса в двох положеннях, показаних на рис.; б) при якому відношенні  $b/h$  брус ще буде мати остійність (граничне положення). Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.33.

Таблиця 2.33

### Вихідні дані

Задача №1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$l$	4	4,5	5	5,5	6,0	6,3
$b$	25	30	35	40	36	38
$h$	15	20	25	30	35	15
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$l$	6,6	6,8	7,0	7,3	5,3	5,5
$b$	44	48	50	30	32	35
$h$	20	25	30	15	20	25
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$l$	5,7	5,9	6,1	6,4	6,7	6,0

<i>b</i>	36	40	45	50	15	20
<i>h</i>	30	35	15	20	25	30

2. Прямокутний понтон з сторонами *a* (дм), *в* (см), плаває у воді. Визначити розмір осадки, якщо власна вага понтону з вантажем на ньому складає *G* (МН), масова густина води рівняється  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , як зміниться вага понтону при зміні масової густини рідини до  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.34.

Таблиця 2.34

Вихідні дані

Задача №2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
<i>a</i>	300	320	330	340	345	350
<i>в</i>	2000	2100	2150	2200	2250	2300
<i>G</i>	8	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
<i>a</i>	355	360	365	310	315	335
<i>в</i>	2350	2400	2450	2050	2150	2180
<i>G</i>	8,8	8,9	9,0	8	8,3	8,4
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
<i>a</i>	345	348	355	358	368	363
<i>в</i>	2280	2280	2380	2380	2480	2480
<i>G</i>	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0

3. Визначити діаметр поплавка круглого перерізу, який повинен відкрити клапан при збільшенні рівня рідини в поплавковій камері на *h* (см), сила відкриття клапана *P* (Н), масова густина рідини  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>). Вихідні дані подано у таблиці 2.35.

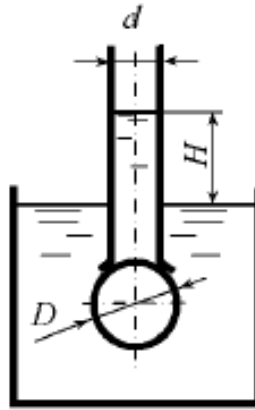
Таблиця 2.35

Вихідні дані

Задача №3						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
<i>h</i>	2,0	3,0	2,5	1,5	2,0	2,5
<i>P</i>	10	11	12	13	14	15
$\rho$	1000	700	800	740	830	840
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант

						12
h	2,8	3,0	2,0	2,2	3,3	2,5
P	16	17	18	14	14	15
$\rho$	1030	750	780	1000	720	830
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
h	1,6	2,6	2,7	2,4	3,2	2,4
P	13	12	13	12	12	17
$\rho$	760	860	840	1030	770	780

4. Занурений у воду порожнистий кульовий клапан діаметром  $D$  (мм) і масою  $m$  (кг) закриває вхідний отвір труби з внутрішнім діаметром  $d$  (мм). При якій різниці рівнів  $H$  клапан почне пропускати воду з труби в резервуар? Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.36.

Таблиця 2.36

Вихідні дані

Задача №4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
D	150	155	160	165	170	175
m	0,5	0,55	0,58	0,6	0,62	0,65
d	100	105	110	115	120	125
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
D	180	185	190	100	105	110
m	0,68	0,7	0,75	0,38	0,4	0,43
d	130	132	134	80	85	90
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
D	120	125	130	135	140	145

m	0,45	0,48	0,5	0,52	0,53	0,58
d	95	100	105	110	115	120

2. Відносна рівновага рідини в посудині при її рівномірному обертальному русі

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Візьмемо циліндр висотою  $H$  і діаметром  $d = 2R$ . наповнимо рідиною на висоту  $H_n$  і розмістимо його в циліндричній системі координат  $rOz$  (рис. 2.9).

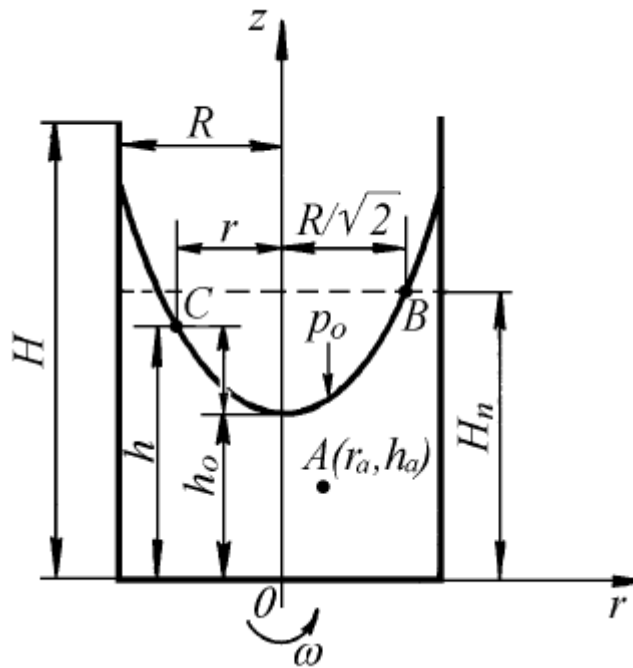


Рисунок 2.9 — Обертання відкритої посудини навколо вертикальної осі

Дослідимо закон зміни тиску і визначимо форму вільної поверхні рідини при обертанні даної посудини навколо її вертикальної осі  $z$  з постійною кутовою швидкістю  $\omega = 2\pi n$  ( $n$  — кількість обертів посудини в секунду). Дяк цього в рідині виділимо точку  $A$  з координатами  $r_a$  і  $h_a$ . На дану точку рідини крім сили ваги  $G = mg$  буде діяти сила інерції  $F_{in} = -ma$ , де  $a$  — доцентрове прискорення точки  $A$ . Одиничні масові сили в даному випадку, які діють на точку  $A$ , дорівнюють

$$R = \omega^2 r, \quad Z = -g.$$

Рівняння, яке описує закон зміни тиску в будь-якій точці рідини при обертанні посудини навколо своєї осі  $z$  з постійною кутовою швидкістю  $\omega$  має наступний вигляд [9]

$$p = p_0 + \rho \frac{\omega^2 r_a^2}{2} - \rho g(h_a - h_0).$$

Позначення, що входять до вище наведеної формули відповідають рис. 2.9.

Форму вільної поверхні рідини при обертанні посудини навколо вертикальної осі визначають за формулою [9]

$$h - h_0 = \frac{\omega^2 r^2}{2g}.$$

Або після підстановки  $z = h - h_0$  [9]

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g}.$$

На основі принципу відносного спокою рідини при обертанні посудини навколо вертикальної осі досягається рівномірний розподіл маси речовин (гуми, чавуну, пластмас і т.д.) в об'ємі прес-форми.

Розглянемо приклад розв'язання задач на відносну рівновагу.

Вертикальна циліндрична посудина діаметром  $D = 40$  см і висотою  $H = 100$  см заповнена до половини водою (рис. 2.10). Визначити, з яким граничним числом обертів можна обертати цю посудину навколо її геометричної вертикальної осі, щоб з неї не виливалась вода, а також визначити силу тиску на дно посудини.

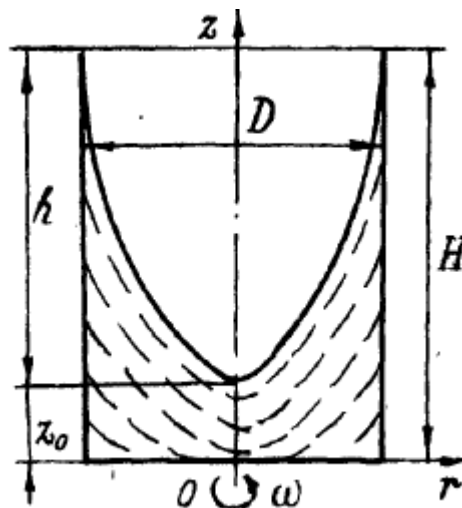


Рисунок 2.10 — Визначення граничного числа обертів посудини (

Розв'язок [9]. Із рисунка 2.8 видно, що  $H = z_0 + h$ . Відповідно отримаємо

$$z_0 = h_0 - \frac{\omega^2 R^2}{4g}, \quad h = \frac{\omega^2 R^2}{2g}.$$

Тоді

$$H = z_0 + h = h_0 + \frac{\omega^2 R^2}{4g}.$$

З іншого боку, початковий рівень в резервуарі  $h_0$  за умовою рівний  $H/2$  і, отже

$$H = \frac{H}{2} + \frac{\omega^2 R^2}{4g},$$

Звідки

$$\omega = \frac{\sqrt{2gH}}{R} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1}}{0,2} = 22,1 \text{ с}^{-1}.$$

Граничне число обертів за хвилину

$$n = 30 \frac{\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 22,1}{3,14} = 211 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Силу тиску рідини на дно посудини знайдемо за формулою закону розподілу надлишкового тиску, приймаючи, що  $P = P_{\text{атм}}$ . Тоді

$$P_n = P - P_{\text{атм}} = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} + \rho g(z_0 - z),$$

Невідому величину вершини параболоїда  $z_0$  визначимо за формулою

$$z_0 = h_0 - \frac{\omega^2 R^2}{2g} = \frac{H}{2} - \frac{H}{2} = 0,$$

Тобто параболоїд вільної поверхні торкається дна посудини, і закон розподілу надлишкового тиску

$$P_n = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2g} - \rho g z.$$

Для точок на дні посудини ( $z = 0$ ) надлишковий тиск

$$P_n = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2g}.$$

Силу тиску на дно посудини знайдемо як суму елементарних сил тиску, що діють на елементарні кільцеві площадки, рівні  $2\pi r \cdot dr$

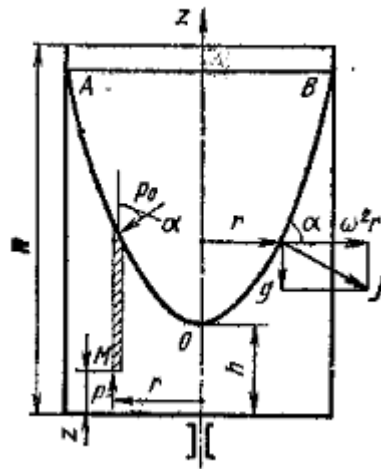
$$F = \int_0^R p_n 2\pi r dr = \pi \rho \omega^2 \int_0^R r^3 dr = \frac{\pi}{4} \rho \omega^2 R^4 =$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 10^3 \cdot 22,1^2 \cdot 0,2^4 = 614 \text{ Н.}$$

### Задачі

5. Літак розвертається в горизонтальній площині, крен при цьому складає кут  $\gamma$  ( $^\circ$ ), радіус розвороту  $R$  (м). Визначити швидкість польоту літака на віражі, при якій рівень палива в баку був-би паралельним до плоскості крила. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.

$$\operatorname{tg} \alpha = dz/dr = \omega^2 r/g,$$



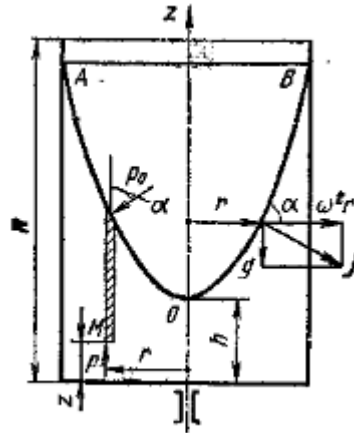
Вихідні дані подано у таблиці 2.37.

Таблиця 2.37

### Вихідні дані

Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$\gamma$	30	33	35	36	38	39
R	300	320	330	340	350	360
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$\gamma$	40	43	45	30	33	35
R	370	380	390	400	420	430
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$\gamma$	36	38	39	40	43	45
R	440	450	460	470	480	490

6. Визначити частоту обертання циліндричного резервуару висотою  $H$  (м), діаметр циліндра  $D$  (м), заповнений рідиною на висоті  $h_0$  (м), при якій рідина піднімається до краю резервуару. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.38.

Таблиця 2.38

Вихідні дані

Задача №6						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$H$	1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8
$D$	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88	0,9
$h_0$	0,3	0,35	0,4	0,44	0,48	0,5
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$H$	2,0	2,2	2,4	1,1	1,15	1,25
$D$	1,0	1,2	1,3	0,75	0,78	0,81
$h_0$	0,52	0,53	0,55	0,41	0,43	0,45
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$H$	1,35	1,45	1,15	1,65	1,75	1,8
$D$	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93
$h_0$	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Напишіть формулювання закону Архімеда.
2. Від яких чинників залежить плавучість тіл?
3. Поясніть значення поняття «метацентр».



4. Поясніть значення поняття «метацентрична висота».
5. За яких умов тіло, що плаває є остійним?

**Тема № 3.** Основи кінематики і гідродинаміки рідини.

**Тема № 6.** Витік рідини через отвори і насадки.

**Практичне заняття №5.** Основи кінематики і гідродинаміки рідини.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у визначенні параметрів взаємодії потоку рідини з отворами.

Кількість годин - 4. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

#### **Навчальні питання:**

1. Швидкість та витрата рідини.
2. Витікання рідини з посудини.
3. Взаємодія вільного струменя з перешкодою.

Література: [2, с. 106-115; 3, с. 118-134; 4, с. 43-44, с. 48-51, с. 175-187, с. 194-197].

#### **План проведення заняття:**

##### **I. Порядок проведення вступу до заняття.**

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

##### **II. Порядок проведення основної частини заняття.**

##### **1. Швидкість та витрата рідини.**

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Переріз потоку рідини, перпендикулярний до його осі, називається живим або поперечним перерізом потоку.

Кількість речовини, що протікає в одиницю часу через живий переріз потоку, називається її витратою. Розрізняють витрату об'ємну та масову.

Об'ємну витрату визначають за формулою [2]

$$Q = V/\tau = v \cdot S,$$

де  $Q$  - об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/с;  $V$  - об'єм рідини, м<sup>3</sup>;  $t$  - час, с;  $v$  - лінійна швидкість руху рідини, м/с;  $S$  - живий переріз потоку, м<sup>2</sup>.

Масова витрата (у кг/с) [2]

$$Q = \rho \cdot v \cdot S.$$

Лінійна швидкість потоку  $v$  - це середня швидкість руху точки, що визначається по довжині шляху в одиницю часу. Вона дорівнює [2]

$$v = Q / S.$$

Буває, коли рух рідини відбувається в каналах форми поперечного перерізу, що відрізняється від круглої. У цих випадках користуються поняттям еквівалентного діаметру або гідравлічного радіусу. Гідравлічний радіус визначається за формулою [2]

$$r_z = S / \Pi,$$

де  $\Pi$  – довжина змоченого периметра каналу, м.

Еквівалентний діаметр дорівнює чотирьом гідравлічним радіусам  $d_e = 4r_z$ .

#### Задача

1. По трубопроводу діаметром  $d$  (мм) перекачується нафтопродукт питомою вагою  $\gamma$  (кГс/м<sup>3</sup>) в кількості  $G$  (Тс) за добу. Визначити секундну об'ємну витрату нафти  $Q_c$  і середню швидкість її течії  $V$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.39.

Таблиця 2.39

#### Вихідні дані

<b>Задача №1</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
$d$	150	160	180	200	210	220
$G$	1000	1100	1050	1150	1200	900
$\gamma$	900	930	920	910	905	917
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
$d$	230	156	158	150	160	180
$G$	850	950	880	920	940	950
$\gamma$	922	925	926	800	830	820
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$d$	200	210	220	230	156	158
$G$	960	980	1000	1100	1150	985
$\gamma$	810	805	817	822	825	826

#### 2. Витікання рідини з посудини.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

*Витікання рідини з посудини з постійним рівнем.* Розглянемо витікання рідини з посудини, яка має отвір у днищі, з постійним рівнем рідини (рис. 2.11). З отвору в одиницю часу витікає об'єм рідини  $Q_2$ , а в посудину поступає така ж кількість рідини об'ємом  $Q_1$ , тобто  $Q_2 = Q_1$ . Отже, рівень рідини в посудині буде постійний ( $h = \text{const}$ ).

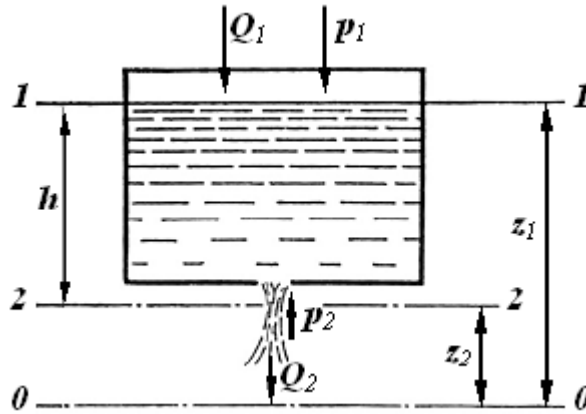


Рисунок 2.11 – Витікання рідини з посудини з постійним рівнем

З рівняння нерозривності потоку для перерізів 1-1 і 2-2 маємо [2]

$$v_1 = \frac{v_2 \cdot S_2}{S_1}.$$

Проходячи крізь площину отвору, струмінь рідини звужується, досягаючи на відстані, яка дорівнює приблизно 0,5 діаметра отвору, найбільш вузького поперечного звуження. Відношення площі цього звуження  $S$  до площі отвору  $S_2$  називають коефіцієнтом стиснення струменя  $\lambda_c$  [2]

$$\lambda_c = \frac{S}{S_2}.$$

Величина  $\lambda_c$  залежить від типу насадки і дорівнює 0,6...1. На практиці часто необхідно визначити об'ємну витрату рідини, яка витікає з отвору  $Q_V$  (м<sup>3</sup>/с) [3]

$$Q_V = S_2 \cdot v_e = \phi_e \cdot \lambda_c \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot H}.$$

Добуток коефіцієнтів швидкості та стиснення струменя в  $\phi_e \cdot \lambda_c$  називають *коефіцієнтом витрати* -  $\mu_e$ .

Остаточне рівняння витрати реальної рідини, яка витікає з отвору, за умови постійного рівня  $H$  у посуді набуде вигляду [3]

$$Q_V = \mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot H}.$$

Це рівняння застосовується також для розрахунку витікання рідини крізь отвір в боковій стінці. У цьому випадку за  $H$  приймають відстань від верхнього рівня рідини до осі отвору.

Таким чином, витрата рідини, яка витікає з отвору в посудині, залежить від висоти постійного рівня рідини над отвором і від розміру отвору, але не залежить від форми посудини.

*Витікання рідини з посудини за змінним рівнем.* Розглянемо витікання рідини з відкритої посудини, яка має площу поперечного перерізу  $S_1$  і отвір у дні площею  $S_2$  (рис. 2.12). Витікання рідини з отвору під час змінного рівня є неусталеним (нестационарним) рухом потоку, для якого напір, а отже, і швидкість є функцією тільки часу.

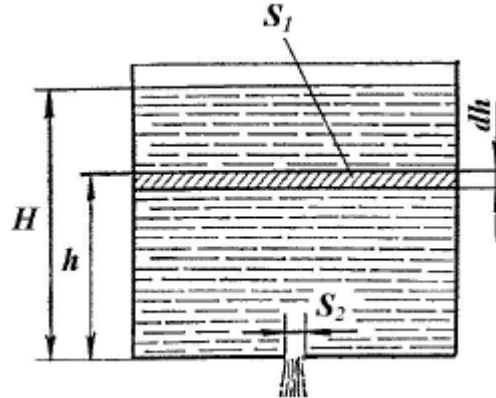


Рисунок 2.12 – Витікання рідини з посудини зі змінним рівнем

За нескінченно малий проміжок часу  $d\tau$  через отвір витікає об'єм рідини  $dV$ , який дорівнює [3]

$$dV = Q_V d\tau = \mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot h} d\tau,$$

де  $h$  – товщина шару рідини в посудині в будь-який момент часу.

За цей же проміжок часу рівень рідини в посудині знизиться на величину  $dh$ , а об'єм рідини в посудині зміниться на величину [3]

$$dV = -S_1 dh.$$

Знак мінус у правій частині вказує на зменшення висоти рідини в посудині.

Прирівняємо вирази з  $dV$  [3]

$$\mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot h} d\tau = -S_1 dh.$$

Звідси [3]

$$d\tau = -\frac{S_1 dh}{\mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot h}}.$$

Проінтегруємо цей вираз, приймаючи, що коефіцієнт витрати  $\mu_e$  постійний [3]

$$\int_0^\tau d\tau = -\int_H^0 \frac{S_1 dh}{\mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot h}}.$$

Після інтегрування одержимо [3]

$$\tau = \frac{2S_1\sqrt{H}}{\mu_e \cdot S_2\sqrt{2g}} \quad \text{або} \quad \tau = \frac{2S_1 \cdot H}{\mu_e \cdot S_2\sqrt{2g \cdot H}}.$$

Враховуючи, що  $S_1 \cdot H = V$  ( $V$  - об'єм рідини в посудині, м<sup>3</sup>), одержимо [3]

$$\tau = \frac{2V}{\mu_e \cdot S_2\sqrt{2g \cdot H}},$$

Траєкторією струменя називають вісь струменя рідини, що вільно падає після закінчення через отвір. Координати осі струменя  $x$  і  $y$  пов'язані між собою співвідношеннями [3]

$$x = 2\varphi\sqrt{Hy}, \quad y = \frac{x^2}{4\varphi^2 H}.$$

Задачі з використанням рівняння Бернуллі розв'язуються у наступній послідовності.

1) Складається принципова гідравлічна схема. Наприклад, як показано на наступному рисунку.

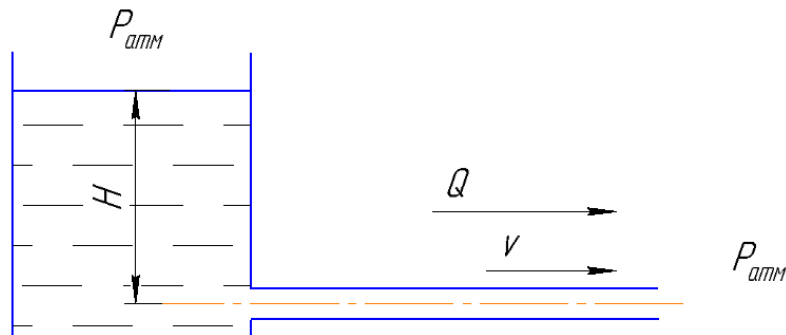


Рисунок 2.13 – Приклад виконання принципової схеми

2) На схемі проводять спільну для всієї системи площину порівняння О-О. Площину порівняння рекомендовано проводити по осі найнижчого трубопроводу або по вільній поверхні найнижчого резервуара. На наступному рисунку показано проведену площину порівняння – пунктирна лінія О-О.

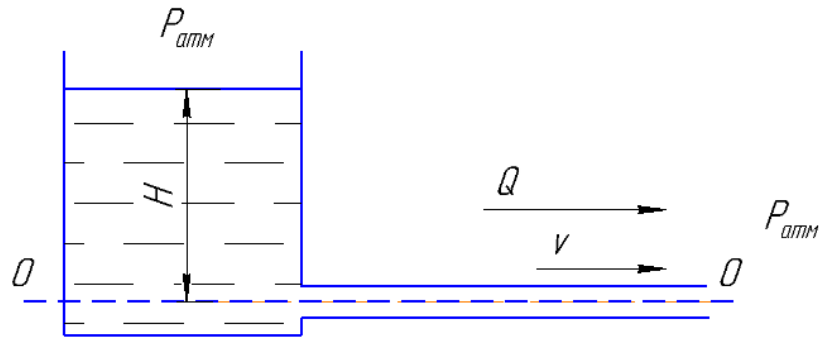


Рисунок 2.14 – Нанесення площини порівняння на схему

3) Вибрати щонайменше два живих перерізи. Один переріз вибирають у тому місці, де уже відомі параметри потоку. Інший переріз вибирають там, де потрібно визначити параметри потоку (швидкість або тиск). Приклад вибору перерізів (1-1 і 2-2) та позначення параметрів потоку показано на рисунку нижче.

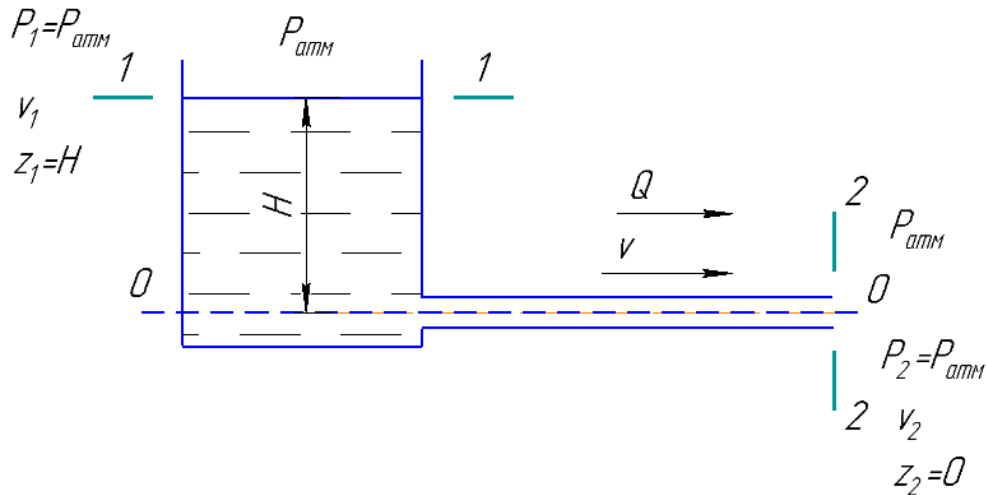


Рисунок 2.15 – Нанесення перерізів та позначення параметрів потоку

4) Записати рівняння Бернуллі для двох перерізів. Для схеми показаної на розглянутих рисунках це рівняння буде таким:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \text{ або } H + \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

Далі це рівняння розв'язують відносно потрібної невідомої величини виходячи із заданих умов задачі.

У разі течії реальної рідини або наявності додаткових гідравлічних опорів визначають режим течії і значення гідравлічних втрат напору (тиску). Потім визначені значення додають у праву частину рівняння Бернуллі.

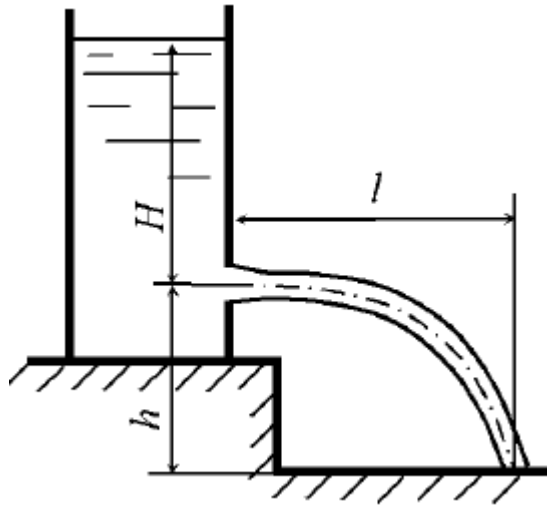
2. Із отвору у боковій стінці посудини по горизонтальній трубі змінного перерізу витікає вода. Визначити витрату води  $Q$ , а також середню швидкість  $V_{\text{сер}}$ , тиск  $p$  в перерізах трубопроводу, який складається із трьох труб 1, 2 і 3 різного діаметру. Рівень рідини в посудині вважати постійним і не враховувати гідравлічний тиск при наступних даних: висота  $H$  (м), діаметри трубопроводів  $d_1$  (см),  $d_2$  (см),  $d_3$  (см). Вихідні дані подано у таблиці 2.40.

Таблиця 2.40

## Вихідні дані

Задача №2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$H$	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,25
$d_1$	5	6	7	8	9	10
$d_2$	10	12	14	16	18	20
$d_3$	8	9	10	11	12	13
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$H$	2,4	2,5	2,6	1,6	1,65	1,75
$d_1$	11	12	13	4	5	6
$d_2$	22	18	25	12	14	16
$d_3$	14	15	16	8	9	10
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$H$	1,85	1,95	2,15	2,35	2,55	2,65
$d_1$	8	9	10	11	12	13
$d_2$	18	20	19	18	17	22
$d_3$	11	12	13	14	15	16

3. Відкритий призматичний резервуар з вертикальними стінками випорожнюється через отвір діаметром  $d$  (см). Площа поперечного перерізу резервуара  $S$  (м<sup>2</sup>). Через 5 хв напір склав  $H_2$  (м). Визначити витрати рідини і дальність польоту струменя в початковий момент часу, якщо отвір розташований на висоті  $h$  (м) від підлоги. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.41.

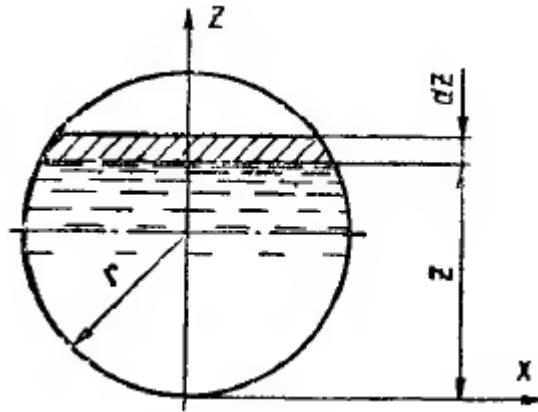
Таблиця 2.41

Вихідні дані

Задача №3						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$d$	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$S$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$H_2$	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7
$h$	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,5
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$d$	3,2	3,4	3,6	2,3	2,5	2,7
$S$	2,2	2,4	2,6	1,1	1,3	1,5
$H_2$	0,72	0,74	0,76	0,61	0,3	0,65
$h$	0,52	0,54	0,56	0,41	0,43	0,45
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$d$	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
$S$	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7
$H_2$	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77
$h$	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57

4. Циліндрична бочка радіусом  $R$  (м) і висотою до  $h$  (м) залита водою, тиск на вільній поверхні якої дорівнює атмосферному. Визначити час випорожнення бочки: а) через отвір діаметром  $d$  (см) в боковій стінці при горизонтальному положенні бочки; б) через такий самий отвір в дні при вертикальному положенні бочки. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.





Вихідні дані подано у таблиці 2.42.

Таблиця 2.42

Вихідні дані

Задача №4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
R	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
h	1	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
d	2	1,5	2	2,5	3,0	3,5
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
R	0,9	1,0	1,1	0,3	0,4	0,5
h	1,05	1,1	1,15	1,1	1,05	1,1
d	4,0	4,5	5,0	3	3,25	3,5
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
R	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
h	1,15	1,25	1,23	1,28	1,33	1,45
d	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5	4,8

### 3. Взаємодія вільного струменя з перешкодою

#### Теоретичні відомості до розв'язання задач

У практиці різних видів виробництва проведення деяких процесів пов'язано з використанням *струменів рідини* і закономірностей їх взаємодії зі стінками посудини або твердими тілами.

Рідинні струмені використовують у різних мийних машинах для тари, плодів і ягід, струминних насосах, для розпилювання рідини в сушильних установках тощо. Для отримання струменів рідин використовують різноманітні насадки.

Насадкою називається патрубок або коротка трубка, що приєднана до отворів у тонких стінках. Довжина насадок  $l$  становить:

$$l = (3...4) d,$$

де  $d$  – внутрішній діаметр насадки.

У практиці використовуються такі типи насадок (рис. 2.13): а – циліндрична; б – конічна, яка звужується; в – конічна, яка розширюється; г – конусоподібна.

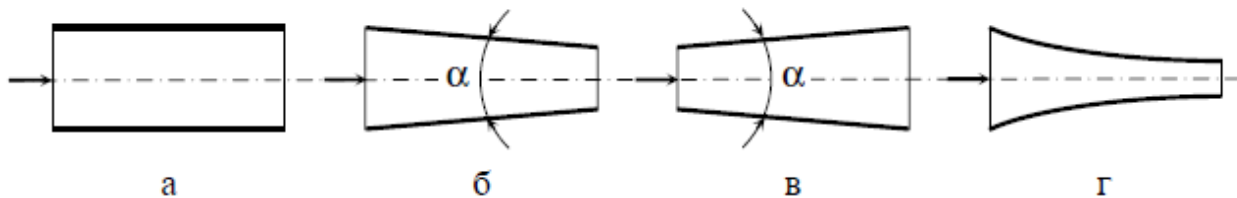


Рисунок 2.16 – Основні типи насадок

Швидкість і об'ємну витрату рідини під час витікання через насадки можна визначити за формулами

$$v_e = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}} \sqrt{2g \cdot h}$$

і рівняння, яке уже розглядали раніше

$$Q_V = \mu_e \cdot S_2 \sqrt{2g \cdot H},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору під час витікання.

При цьому значення коефіцієнтів швидкості, стиснення струменів і витрати залежать від типу насадки. Так, наприклад, коефіцієнт витрати  $\mu_v$  для циліндричних насадок становить 0,71...0,82; для конічних, які звужуються – 0,94...0,98; для конічних, які розширюються – 0,5...0,55; для конусоподібних – 0,98. Як бачимо, конусоподібні насадки мають найбільш високий коефіцієнт витрат, бо у них практично відсутнє стискання струменя на виході. Такі насадки використовують, коли необхідно отримати струмінь із великою кінетичною енергією і далекобійністю.

*Вплив струменя рідини на стінку* посудини залежить від густини, її витрати і швидкості руху. Найбільший практичний інтерес має вплив струменя рідини на стінки різного профілю (рис. 2.17).

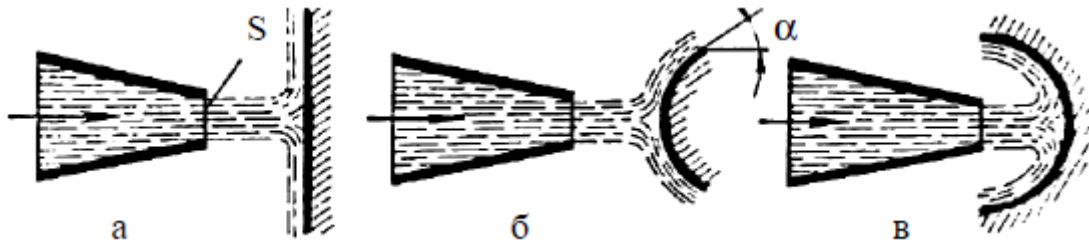


Рисунок 2.17 – Схема впливу рідини на стінку

Сила впливу струменя рідини на плоску стінку (рис. 7.4а) визначається, як

$$F = \rho \cdot Q_v \cdot v,$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;  $Q_v$  – витрата рідини,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $v$  – швидкість рідини,  $\text{м/с}$ .

Сила впливу струменя на опуклу стінку (рис. 7.4б) може бути визначена за формулою

$$F = \rho \cdot Q_v \cdot v(1 - \cos \alpha).$$

У випадку увігнутої стінки (рис. 7.4в) сила впливу струменя буде дорівнювати

$$F = 2\rho Q_v v.$$

#### Задачі

5. Струмінь води з поперечним перерізом  $S$  ( $\text{мм}^2$ ) б'є в стінку, яка є перпендикулярною до осі струменя. Швидкість води у струмені  $v$  ( $\text{м/с}$ ), після удару об стінку вода втрачає швидкість і вільно стікає у низ. З якою силою струмінь б'є у стінку? Вихідні дані подано у таблиці 2.43.

Таблиця 2.43

#### Вихідні дані

Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
S	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
v	7	8	9	10	11	12
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
S	5,0	5,5	6,0	2,3	2,6	2,8
v	13	14	15	8	9	10
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
S	3,2	3,6	3,8	4,2	4,4	4,6
v	11	12	13	14	9	8

6. Спрямований горизонтально струмінь води б'є в вертикальну стінку. З якою силою струмінь тисне на стінку, якщо швидкість витікання води  $v$  (м/с) і вода надходить через трубку, що має перетин  $S$  (см<sup>2</sup>)? Вважати, що після удару вода стікає уздовж стінки. Вихідні дані подано у таблиці 2.44.

Таблиця 2.44

Вихідні дані						
Задача №6						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
S	1	2	3	4	5	6
v	2	4	6	8	10	12
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
S	7	8	9	2,5	3,5	4,5
v	14	16	18	8	9	10
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
S	5,5	5,35	5,8	5,75	6,3	6,5
v	12	13	14	15	16	17

### III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Що таке коефіцієнт стискання струменя?
2. Запишіть рівняння нерозривності потоку рідини.
3. Від яких чинників залежить час випорожнення посудини зі змінним рівнем?
4. Від яких чинників залежить швидкість і об'ємна витрата рідини під час витікання через насадки?
5. Від яких чинників залежить сила впливу струменя рідини на плоску стінку?

**Тема № 4.** Режимы течії рідини. Поняття про кавітаційний режим течії рідини.

**Тема № 5.** Гідравлічний опір в гідросистемах і його класифікація

**Практичне заняття №6.** Режимы руху рідини, опори руху рідини.

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у визначенні основних параметрів течії рідини; отримання розуміння впливу різних конструктивних елементів гідросистем на втрати напору.

Кількість годин - 4. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

**Навчальні питання:**

1. Режим руху рідини.
2. Гідравлічний опір в гідросистемах. Втрати напору (тиску) під час течії рідини.

Література: [2, с. 90-103; 3, с.87-112; 4, 89-129].

**План проведення заняття:**

- I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

- II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Режим руху рідини.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Існують два режими руху рідини: ламінарний та турбулентний. При ламінарному режимі рідина рухається струминками, які не змішуються. При турбулентному режимі, навпаки, існує сильне змішування часток рідини.

Кількість рідини  $W$ , яка протікає через живий переріз потоку за одиницю часу  $t$ , називають *витратою потоку*,  $Q$  (м<sup>3</sup>/с)

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

При сталому русі нев'язкої рідини витрата за всіма живими перерізами однакова

$$Q = V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = \dots V_n \omega_n = \text{const}$$

де  $V_1, V_2, \dots V_n$  – середня швидкість в усіх живих перерізах потоку  $\omega_1, \omega_2, \dots \omega_n$ .

Для визначення характеру руху використовують число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{V \cdot l}{\nu},$$

де  $l$  – характерний розмір потоку, м;  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, м<sup>2</sup>/с.

Для труб круглого перерізу число Рейнольдса розраховують за формулою

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu}.$$

Для інших видів перерізів (для відкритих русел)

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu},$$

або

$$Re = \frac{V \cdot d_{екв}}{\nu},$$

де  $d_{екв}$  – еквівалентний (гідравлічний діаметр).

Критичні значення числа Рейнольдса дорівнюють:

для ламінарного режиму у прямих гладких трубах  $Re_{кр} = 2100 - 2300$ ;

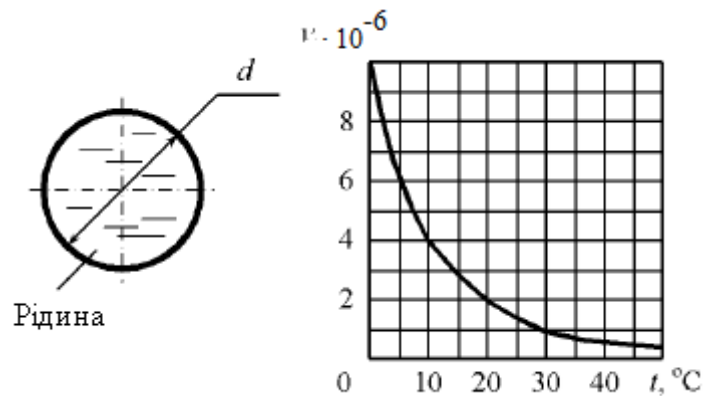
для перехідного режиму  $2300 \leq Re_{кр} \leq 4000$ ;

для турбулентного режиму  $Re_{кр} > 4000$ .

Необхідні для розрахунків довідникові дані наведено у додатку В.

#### Задачі

1. По трубі діаметром  $d$  (см) під напором рухається мінеральне масло з температурою  $t$  ( $^{\circ}C$ ). Визначити критичну швидкість і витрату рідини, при якому відбувається зміна режимів руху рідини. Графік залежності кінематичного коефіцієнта в'язкості рідини від температури показаний на рисунку нижче.



Вихідні дані подано у таблиці 2.45.

Таблиця 2.45

#### Вихідні дані

Задача №1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
d	20	22	24	25	27	30
t	15	10	11	12	13	14
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
d	32	33	35	10	12	14

t	15	16	17	14	16	18
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	16	18	20	22	24	26
t	15	19	20	22	24	25

2. Визначити характер режиму при течії води трубопроводу діаметром  $d$  (см), якщо витрата  $Q$  (л/с), температура води  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). Вихідні дані подано у таблиці 2.46.

Таблиця 2.46

Вихідні дані

<b>Задача №2</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
d	5	6	7	8	9	10
Q	4	5	6	7	8	9
t	10	11	12	13	14	15
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
d	11	12	13	14	15	16
Q	10	11	12	13	14	15
t	16	17	18	19	20	21
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	17	18	19	20	21	22
Q	16	17	18	19	20	21
t	22	23	24	25	26	27

3. Визначити критичну швидкість, що відповідає переходу від ламінарного режиму до турбулентного, в трубі діаметром  $d$  (м) при русі води при температурі  $t_b$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) і масла авіаційного АС-10 при температурі  $t=20^{\circ}\text{C}$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.47.

Таблиця 2.47

Вихідні дані

<b>Задача №3</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
d	0,02	0,025	0,03	0,034	0,036	0,04
$t_b$	10	11	12	13	14	15
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>

d	0,042	0,045	0,048	0,05	0,052	0,056
t <sub>B</sub>	16	17	18	19	20	21
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	0,06	0,064	0,068	0,07	0,072	0,074
t <sub>B</sub>	22	23	24	25	26	27

4. В результаті дослідного перекачування води по горизонтальному трубопроводу діаметром  $d$  (см), довжиною  $l$  (м) при виміряній різниці тисків в кінцевих перетинах  $\Delta p = p_1 - p_2$  (ат) отримано витрату води  $Q$  (л/с), кінематична в'язкість води  $\nu = 0,01$  см<sup>2</sup>/с. Визначити величину «еквівалентної шорсткості» трубопроводу. Вихідні дані подано у таблиці 2.48.

Таблиця 2.48

## Вихідні дані

Задача №4						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
d	5	6	7	8	9	10
l	400	450	500	550	600	650
$\Delta p$	0,7	0,75	0,77	1,78	0,79	0,8
Q	10	11	12	13	14	15
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
d	11	12	13	14	15	16
l	700	750	800	900	930	960
$\Delta p$	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,6
Q	16	17	18	19	20	21
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	17	18	19	20	21	22
l	980	1000	1200	1300	1400	150
$\Delta p$	0,87	0,88	0,89	0,92	0,93	0,96

2. Гідравлічний опір в гідросистемах. Втрати напору (тиску) під час течії рідини.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

*Втрати напору за довжиною.*

Рівномірний рух рідини спостерігається у тих випадках, коли живий переріз за довжиною незмінний (наприклад, напірні труби, де діаметр незмінний).



Коли рух рідини у трубах рівномірний, то втрати опору на тертя за довжиною  $h_l$  як при турбулентному так і ламінарному русі визначаються для круглих труб за формулою Дарсі – Вейсбаха:

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

а для труб будь-якої іншої форми перерізу за формулою:

$$h_l = \lambda \frac{l}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \cdot \frac{V^2}{2g};$$

у деяких випадках використовують формулу:

$$h_l = \frac{V^2}{C^2 \cdot R} \cdot l;$$

втрати тиску на тертя за довжиною визначають за формулою:

$$\Delta p_l = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \rho \frac{V^2}{2},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя;  $l$  – довжина ділянки труби або каналу;  $d$  – діаметр труби;  $V$  – середня швидкість течії;  $R$  – гідравлічний радіус;  $d_{екв}$  – еквівалентний діаметр;  $C$  – коефіцієнт Шезі, пов'язаний з коефіцієнтом гідравлічного тертя  $\lambda$  залежністю:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{8g}{C^2}.$$

Розмірність коефіцієнта Шезі –  $m^{1/2}/c$ .

Для круглих труб  $d_{екв} = 4r$ , де  $r$  – радіус труби.

Коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  враховує втрату опору по довжині. Важливим фактором, який суттєво впливає на коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  є в'язкість рідини та стан стінок труби.

Для турбулентного та ламінарного руху рідини застосовують різні формули.

*Турбулентний рух.* При турбулентному русі у напірному трубопроводі круглого перерізу коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$ , який входить до формули Дарсі – Вейсбаха залежить від двох параметрів, які не мають розмірності – числа Рейнольдса та відносної шорсткості  $\Delta_{екв}$ , тобто

$$\lambda = f\left(\text{Re}; \frac{\Delta_{екв}}{d}\right),$$

де  $\Delta_{екв}$  – еквівалентна рівномірно-зерниста абсолютна шорсткість, м чи мм (для труб значення у таблиці).

Для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  при різних режимах руху рідини у напірних трубах рекомендують наступні формули (табл. 2.49).

Таблиця 2.49

Формули для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda$  при різних режимах руху рідини у напірних трубах

Режим руху		Число Рейнольдса	Формула для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя $\lambda$
Ламінарний		$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$
Перехідний		$2300 < Re < 4000$	Проектування трубопроводів не рекомендується
Турбулентний	1-а область	$4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_{екв}}$	Формула Блазіуса $\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ Формула Конакова $\lambda = \frac{1}{(1,81 \cdot \lg Re - 1,5)^2}$
	2-а область	$10 \frac{d}{\Delta_{екв}} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_{екв}}$	Формула Альтшуля $\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_{екв}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$
	3-а область	$Re > 560 \frac{d}{\Delta_{екв}}$	Формула Альтшуля $\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_{екв}}{d} \right)^{0,25}$ Формула Нікурадзе $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{\Delta_{екв}}{3,71d} \right)$

### Місцеві втрати напору у трубах

Місцеві втрати напору обумовлюється подоланням місцевих опорів, які створюються фасонними частинами, арматурою та іншим обладнанням на трубопроводах. Місцеві опори викликають зміну величини та напрямку швидкості руху рідини на окремих ділянках трубопроводу, що пов'язано з появою додаткових втрат напору. Рух у трубопроводі за наявності місцевих опорів є нерівномірним. Втрати напору в місцевих опорах  $h_M$  (місцеві втрати напору) визначають за формулою Вейсбаха:

$$h_M = \sum \xi \frac{V^2}{2g}, \text{ м}$$

де  $V$  – середня швидкість у перерізі, який розташований нижче за течією за опором, м/с;  $\xi$  – безрозмірний коефіцієнт місцевого опору.

Для визначення втрат тиску  $\Delta_{\text{рм}}$  ця формула приймає вигляд

$$P_M = \sum \xi \rho \frac{V^2}{2g}, \text{ м.}$$

Значення коефіцієнтів місцевих опорів залежать від конфігурації місцевого опору і режиму руху. Цей режим визначається коефіцієнтом гідравлічного тертя  $\lambda$ , тобто числом Рейнольдса і відносною шорсткістю. Залежність коефіцієнтів місцевих опорів від числа Рейнольдса не постійна і у практичних розрахунках нею часто можна знехтувати. Більш значний вплив чисел Рейнольдса відчувається за невеликих їх значень, а також у разі постійної зміни величини або напрямку швидкості (закруглений поворот, плавний вхід до труби).

Наведені далі значення коефіцієнтів опору відносяться до квадратичної області опорів.

*Раптове розширення трубопроводу.* Втрати напору при раптовому розширенні знаходять за формулою Борда:

$$h_{\text{рапт.розш.}} = \frac{\alpha_0 \cdot (V_1 - V_2)^2}{2g}, \text{ м. ,}$$

де  $\alpha_0$  – коефіцієнт кореляції, який представляє відношення дійсної кінетичної енергії потоку в даному перерізі до кінетичної енергії того ж потоку в тому ж перерізі, але у разі рівномірного розподілу швидкості, дорівнює 1,035;  $V_1$  і  $V_2$  – середні швидкості руху до і після розширення.

Таким чином, втрата напору при раптовому розширенні трубопроводу дорівнює швидкісному напору від втраченої швидкості.

*Раптове звуження трубопроводу* (рис. 2.18). Коефіцієнт місцевого опору при раптовому звуженні:

$$\zeta_{\text{звуж}} = (1 - S_2/S_1)/2.$$

Тоді втрата напору:

$$h_{\text{звуж}} = \zeta_{\text{звуж}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot 9.81}.$$

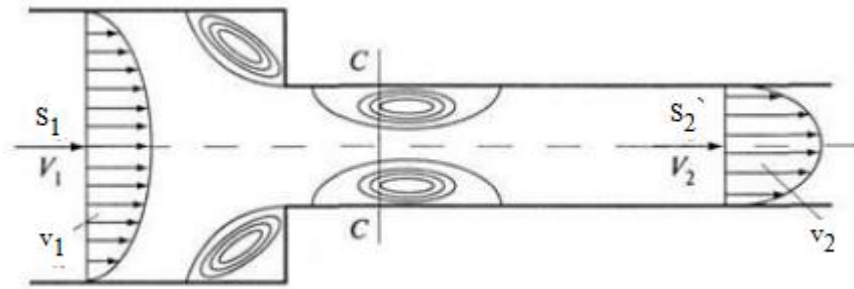


Рисунок 2.18 – Раптове звуження трубопроводу

Коефіцієнт стискання залежить від ступені стискання потоку:

$$n = \frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

Значення коефіцієнту стискання залежно від співвідношення площ перерізів наведені у таблиці 2.50.

Таблиця 2.50

Значення коефіцієнту стискання залежно від співвідношення площ перерізів

$n$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\varepsilon$	0,609	0,613	0,618	0,623	0,631	6,42	0,656	0,678	0,713	0,785	1

*Діафрагма на трубопроводі* (рис. 2.19). Коефіцієнт місцевого опору діафрагми, розташованої всередині труби постійного перерізу:

$$\xi_{\text{діафр}} = \left( \frac{1}{n \cdot \varepsilon} - 1 \right)^2, \text{ м.},$$

де  $n = \omega_o / \omega$  – відношення площі отвору діафрагми  $\omega_o$  до площі перерізу труби  $\omega$ .

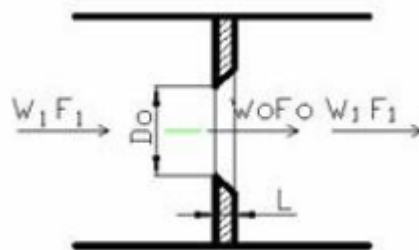


Рисунок 2.19 – Діафрагма на трубі постійного перерізу

*Вхід в трубу з резервуара.* Для коефіцієнта опору належить приймати наступні значення:

- при гострих краях –  $\xi_{\text{вх\ddot{и}д}} = 0,4 \div 0,5$ ;
- при закруглених краях –  $\xi_{\text{вх\ddot{и}д}} = 0,2$ ;
- при плавному вході –  $\xi_{\text{вх\ddot{и}д}} = 0,05$ .

*Поступове розширення трубопроводу (дифузор).* Коефіцієнт опору для труб, які конічно розходяться (дифузор), залежить від кута конічності та співвідношення діаметрів. Для коротких конусів коефіцієнт опору, відносний до широкого перерізу, знаходимо за формулою:

$$\xi_{\text{диф}} = k_{\text{диф}} \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2, \text{ м.},$$

де  $k_{\text{диф}}$  – коефіцієнт зм'якшення при поступовому розширенні, який залежить від кута конічності  $\alpha$  (рис. 2.20), значення можна знайти у гідравлічному довіднику.

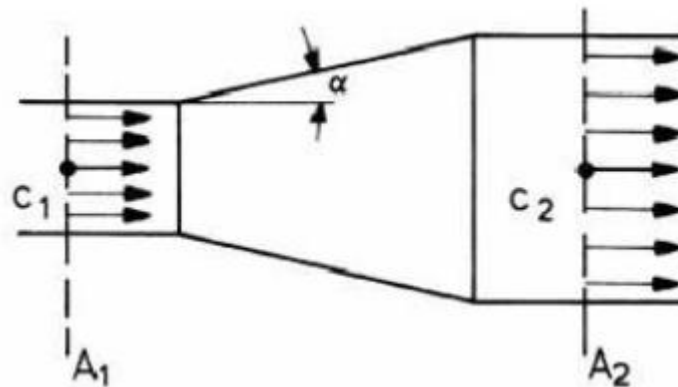


Рисунок 2.20 – Поступове розширення трубопроводу

Для довгих конусів треба враховувати втрати опору за довжиною.

*Поступове звуження трубопроводів.* Коефіцієнт опору для перехідних конусів, які сходяться (конфузори) залежить від кута конічності та співвідношення діаметрів. Для коротких конусів його розраховують за формулою [2]

$$\xi_{\text{конф}} = k_{\text{конф}} \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2, \text{ м.},$$

де  $k_{\text{конф}}$  – коефіцієнт зм'якшення при поступовому звуженні, який залежить від кута конічності  $\alpha$ ; значення  $k_{\text{конф}}$  наведені у гідравлічному довіднику.

Необхідні для розрахунків довідникові дані наведено у додатку В.

### Задачі

5. Визначити втрати тиску за довжиною у новому сталевому трубопроводі (еквівалентна шорсткість  $\Delta_{\text{екв}}$  (мм)) діаметром  $d$  (мм) і

довжиною  $l$  (км), якщо ним транспортують воду з витратою  $Q$  (л/с). Кінематичний коефіцієнт в'язкості води  $\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$ .

Як зміняться втрати напору, якщо цим же трубопроводом буде транспортуватись нафта з тією ж витратою. Кінематичний коефіцієнт в'язкості нафти  $\nu = 1 \text{ см}^2/\text{с}$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.51.

Таблиця 2.51

Вихідні дані						
Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$\Delta_{\text{екв}}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$d$	150	155	158	160	165	168
$l$	1,0	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$Q$	10	11	12	13	14	15
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$\Delta_{\text{екв}}$	0,11	0,12	0,13	0,05	0,06	0,07
$d$	170	200	210	160	168	174
$l$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$Q$	16	17	18	25	26	27
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$\Delta_{\text{екв}}$	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13
$d$	184	188	208	212	224	226
$l$	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
$Q$	28	29	30	31	32	33

6. Горизонтальна труба діаметром  $d_1 = 0,1 \text{ м}$  раптово переходить у трубу діаметром  $d_2 = 0,15 \text{ м}$ . Витрата води  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Визначити:

- втрати напору при раптовому розширенні труби;
- різницю тиску в обох трубах;
- втрати напору і різницю тиску у випадку, коли вода буде текти у протилежному напрямку (тобто з широкої труби в вузьку);
- різницю тиску при поступовому розширенні труби (знехтувавши втратами напору).

Вихідні дані подано у таблиці 2.52.

Таблиця 2.52

## Вихідні дані

<b>Задача №6</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
$d_1$	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13
$d_2$	0,12	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18
Q	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
$d_1$	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
$d_2$	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
Q	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$d_1$	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
$d_2$	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
Q	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18

## III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Що таке ламінарний і турбулентний режим руху рідини?
2. Які існують види місцевих опорів?
3. Що враховує коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$ ?
4. Як записуються формули Дарсі–Вейсбаха, Вейсбаха, Шезі?
5. Що таке місцевий опір, на що витрачається енергія потоку в ньому?
6. Які значення чисел Рейнольдса характеризують межі областей різних видів течії?

**Тема № 7.** Гідравлічний розрахунок трубопроводів, побудова їх характеристик

**Практичне заняття №7.** Рівняння Бернуллі, розрахунок простих трубопроводів

Навчальна мета заняття: отримати практичні навички у методах розрахунку параметрів течії рідини у простих трубопроводах гідросистем.

Кількість годин - 4. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

**Навчальні питання:**

1. Гідравлічний розрахунок простих трубопроводів.

Література: [2, с. 116-120; 3, с.137-150; 4, с. 130-136].

### План проведення заняття:

#### I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

#### II. Порядок проведення основної частини заняття.

##### 1. Гідравлічний розрахунок трубопроводів.

##### Теоретичні відомості до розв'язання задач

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

Для двох перерізів потоку в'язкої реальної рідини при усталеному стаціонарному русі рівняння Д. Бернуллі має вигляд [2]

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_v,$$

де  $z$  – відстань від центру тяжіння перерізу до площини порівняння;  $p$  – тиск;  $\rho$  – густина рідини;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\alpha$  – коефіцієнт Коріоліса;  $V$  – середня швидкість потоку в перерізі;  $h_v$  – втрати питомої енергії.

Рівняння застосовується для рішення практичних задач за умов:

- 1) рух рідини повинен бути усталеним;
- 2) потік повинен бути без різких змін швидкості, безінерційним і безвихровим;
- 3) рух рідини здійснюється без енергообміну із зовнішнім середовищем.

Коефіцієнт Коріоліса, який враховує нерівномірність розподілу швидкості по живому перерізу потоку. Він завжди більший за одиницю, але для спрощення з допустимою похибкою при рішенні інженерних задач, може бути прийнятим рівним одиниці. При звуженні потоку збільшується швидкість руху і, як наслідок, швидкісний напір. Це призводить до зменшення п'єзометричної висоти (а отже, і гідродинамічного тиску) та



зниженню п'єзометричної лінії. Розширення потоку навпаки – зменшує швидкість і швидкісний напір, тиск же і п'єзометрична висота збільшуються, а п'єзометрична лінія зростає. Це явище широко використовується в техніці. На ньому заснована робота інжекторів, ежекторів, гідроелеваторів та інших пристроїв.

Середня швидкість в перерізі  $v$  визначається з рівняння нерозривності, яке при сталому русі рідини має вигляд [2]

$$Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v \omega = \text{const},$$

де  $v_1$  — середня швидкість в перерізі 1-1;  $v_2$  — середня швидкість в перерізі 2-2.

#### *Типовий алгоритм розв'язування задач за допомогою рівняння Бернуллі*

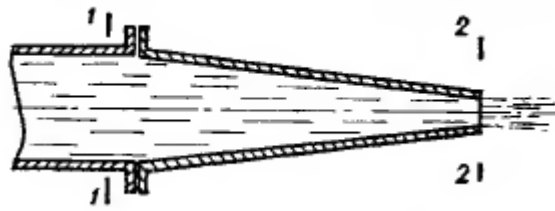
Завдання за допомогою рівняння Бернуллі зручно вирішувати в наступній послідовності:

1. Зобразити принципову гідравлічну схему системи.
2. Провести загальну для всього потоку площину порівняння. Найкраще провести її на рівні самої нижньої точки системи, наприклад на рівні осі самого нижнього трубопроводу, або на рівні рідини самого нижнього резервуара.
3. Вибрати два (або кілька) перетинів. Один перетин вибирається в тому місці, де параметри потоку відомі, інший там, де потрібно визначити невідомі параметри (наприклад тиск). Перетини слід вибирати тільки в тих місцях, де рух можна вважати таким, що плавно змінюється. Нумерувати перетини слід в напрямку руху рідини.
4. Записати рівняння Бернуллі для вибраних перетинів.
5. При необхідності визначити гідравлічні втрати напору на різних ділянках гідросистеми.
6. Обчислити невідомі параметри, використовуючи рівняння Бернуллі.

#### Задачі

Довідникові дані подано у додатку В.

1. Визначити тиск  $p_1$  в перерізі 1-1 горизонтально розташованого сопла, необхідний для надання швидкості воді у вихідному перерізі 2-2 –  $v_2$  (м/с), якщо швидкість руху води в перерізі 1-1 –  $v_1$  (м/с). Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



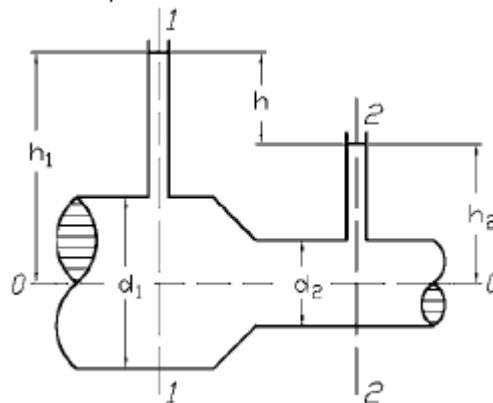
Вихідні дані подано у таблиці 2.53.

Таблиця 2.53

Вихідні дані

Задача №1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$v_1$	3	1	2	3	4	5
$v_2$	40	13	26	41	49	50
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$v_1$	6	7	8	1	1,5	1,3
$v_2$	66	77	92	15	18	21
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$v_1$	1,8	2,2	2,6	2,9	3,2	3,6
$v_2$	24	31	36	42	46	48

2. Визначити витрату води  $Q$  в трубі діаметром  $d_1 = 250$  мм, що має плавне звуження до діаметру  $d_2 = 125$  мм, якщо показання п'єзометрів: до звуження  $h_1 = 50$  см; в звуженні  $h_2 = 30$  см. Температура води  $20^\circ\text{C}$ . Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



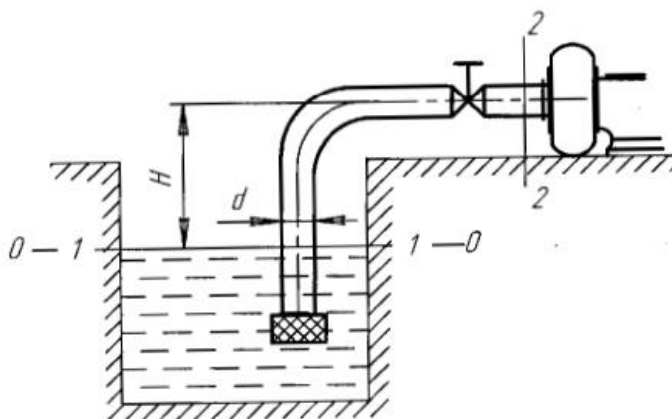
Вихідні дані подано у таблиці 2.54.

Таблиця 2.54

## Вихідні дані

Задача №2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$d_1$	100	110	200	250	180	200
$d_2$	56	55	100	125	90	100
$h_1$	50	48	40	50	46	48
$h_2$	25	22	20	30	33	33
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$d_1$	220	240	250	105	115	124
$d_2$	110	120	125	52	60	64
$h_1$	50	50	53	30	36	38
$h_2$	36	30	33	20	22	24
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$d_1$	128	206	210	216	220	230
$d_2$	66	100	106	110	112	120
$h_1$	40	42	44	46	48	50
$h_2$	26	28	30	32	36	38

3. Насос забирає з водойми воду з температурою  $20^{\circ}\text{C}$  в кількості  $Q$  (л/с). Визначити максимально допустиму висоту розташування горизонтального валу насоса над вільною поверхнею води  $H$ , якщо тиск перед насосом  $p_2$  (Па). На всмоктуючій чавунній трубі діаметром  $d$  (мм) і довжиною  $l$  (м) є захисна сітка, поворот на кут  $90^{\circ}$  і вентиль, який відкрито на 45% площі прохідного перетину. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



*Рекомендації.* Після запису рівняння Бернуллі з наявними даними воно набуде більш простішого вигляду. Потім треба визначити невідомі: швидкість потоку у перерізах за рівнянням нерозривності. Для визначення коефіцієнту втрат  $h_v$  треба визначити тип течії рідини. Це робиться за числом Рейнольдса. Знання типу течії надає можливість встановити значення  $\alpha$  коефіцієнта Коріоліса. Далі з урахуванням суми місцевих опорів  $\Sigma \zeta_i$  визначити коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$ .

Коефіцієнти місцевого опору на вхід у всмоктувальну трубу і вентиля, значення еквівалентної шорсткості подано у додатку В. Вихідні дані подано у таблиці 2.55.

Таблиця 2.55

## Вихідні дані

<b>Задача №3</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
Q	50	40	45	50	55	60
$P_2$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^5$
d	250	120	125	128	130	134
$l$	50	55	30	35	40	45
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
Q	65	70	75	42	44	46
$P_2$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,1 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$
d	140	142	150	200	210	220
$l$	50	52	60	48	50	55
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
Q	48	50	52	54	56	58
$P_2$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10^5$	$0,2 \cdot 10^5$	$0,4 \cdot 10^5$	$0,5 \cdot 10^5$	$0,6 \cdot 10^5$
d	230	240	250	260	270	280
$l$	60	65	70	75	80	86

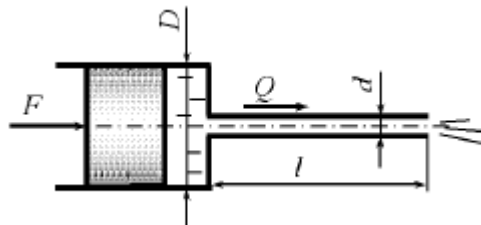
4. Для потреб гарячого водопостачання до споживачів подається вода в кількості  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) при температурі  $t = 70^\circ\text{C}$ . Довжина трубопроводу  $l$  (м), внутрішній діаметр  $d$  (мм), тиск води на початку лінії  $p_1$  ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ). Відмітка осі трубопроводу в кінцевій точці на  $\Delta h$  (м) вища початкової. Визначити повний напір і тиск на початку і кінці трубопроводу, якщо шорсткість труб  $k_e = 5 \cdot 10^{-4}$  м, а втрата напору в місцевих опорах рівна 10 % лінійних втрат. Вихідні дані подано у таблиці 2.56.

Таблиця 2.56

## Вихідні дані

Задача №4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
Q	200	180	190	195	200	205
l	1000	900	1000	1100	1200	1300
d	259	220	225	230	232	234
p <sub>1</sub>	5,0	3,5	4,0	4,2	4,3	4,4
Δh	2,0	2,0	1,8	1,9	1,8	1,9
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
Q	210	215	220	170	175	180
l	1400	1500	1600	1500	1450	1400
d	236	238	240	242	244	246
p <sub>1</sub>	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
Δh	2,0	2,1	2,2	2,0	2,0	1,8
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
Q	185	190	195	200	205	190
l	1350	1300	1250	1200	1150	1100
d	248	250	254	220	210	200
p <sub>1</sub>	5,1	5,2	5,1	5,0	4,9	5,1
Δh	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

5. Поршень діаметром  $D$  (мм) витісняє воду через трубопровід довжиною  $l$  (м), діаметром  $d$  (мм). Визначити, яке зусилля необхідно докласти до поршня, щоб швидкість в трубопроводі була  $v$  (м/с), якщо тертям поршня об стінки циліндра знехтувати. Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



*Рекомендації.* Під час розв'язку потрібно врахувати наявність двох видів місцевих опорів, для визначення коефіцієнту  $\lambda$  і коефіцієнтів Коріоліса  $\alpha$  треба знати вид течії у трубі. Значення кінематичної в'язкості представлено у додатку.

Вихідні дані подано у таблиці 2.57.

Таблиця 2.57

## Вихідні дані

<b>Задача №5</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
D	250	240	242	244	246	248
<i>l</i>	8	7	7,5	8,0	8,2	8,4
d	15	12	13	14	15	16
v	2,4	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
D	250	252	254	246	248	250
<i>l</i>	8,6	8,8	9,0	7,5	8,0	8,2
d	17	18	19	15	16	17
v	2,5	2,6	2,7	2,1	2,2	2,3
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
D	252	254	250	240	242	244
<i>l</i>	8,4	8	7	7,5	8,4	8,6
d	18	19	15	12	13	14
v	2,2	2,3	2,1	2,2	2,3	2,3

## III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Що враховує коефіцієнт Кориоліса?
2. Що означає коефіцієнт  $h_v$ ?
3. Запишіть рівняння нерозривності.
4. Запишіть рівняння Бернуллі для реальної рідини.

**Тема № 8.** Основні параметри гідромашин. Лопатні машини і їх характеристика

**Практичне заняття №8.** Насоси

Навчальна мета заняття: навчитись визначати основні параметри, які характеризують роботу насоса, одиниці вимірювання параметрів насосів.

Кількість годин - 2. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

**Навчальні питання:**

1. Визначення параметрів, що характеризують роботу насосних установок.

Література: [1, с. 97-139; 2, с. 116-123].

### План проведення заняття:

#### I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

#### II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Визначення параметрів, що характеризують роботу насосних установок.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Напір насоса  $H$  - різниця питомих енергій при виході з насоса і на вході в нього, виражена висотою стовпа рідини.

Напір насоса пов'язаний з тиском насоса залежністю [1]

$$H = \frac{P}{\rho g}.$$

Напір насоса витрачається на створення гідростатичного і швидкісних напорів і подолання гідравлічних опорів у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах. Потрібний напір виражається залежністю [1]

$$H_{\Pi} = H_c + \sum h_{w'}$$

де  $H_c$  - гідростатичний напір.

$$H_c = H_r + \frac{p_2 - p_1}{\rho g},$$

де  $H_r$  - геометрична висота підйому рідини;  $p_2, p_1$  - відповідно тиск на вільні поверхні рідини в напірному і видатковому баках;  $\sum h_w$  - сумарні втрати напору в трубопроводах.

Сумарні втрати напору в трубопроводах [1]

$$\sum h_{w'} = h_{w'BC} + h_{w'П},$$

де  $h_{w'BC}$  та  $h_{w'П}$  - відповідно втрати напору у всмоктуючому і напірному трубопроводах.

Потужність насоса - потужність, яку витрачають на привод насоса [1]

$$N = M\omega,$$

де  $M$  - крутний момент на валу насоса;  $\omega$  - частота обертання валу.

Корисна потужність насоса  $N_{\Pi}$  - потужність, що передається насосом до рідини, яка перекачується [1]

$$N_{\Pi} = Qp = Q\rho gH.$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса  $\eta$  - відношення корисної потужності до потужності насоса [1]

$$\eta = \frac{N_{\pi}}{N} = \eta_o \eta_{\Gamma} \eta_m,$$

де  $\eta_o$  - об'ємний ККД, що враховує втрати потужності в насосі на витоки;  $\eta_{\Gamma}$  - гідравлічний ККД, що враховує втрати потужності на подолання гідравлічних опорів в насосі;  $\eta_m$  - механічний ККД, що враховує механічні втрати потужності в підшипниках, ущільненнях, механізмі насоса.

Гідравлічний ККД насоса [1]

$$\eta_{\Gamma} = \frac{H}{H + h_{\text{внас}}},$$

де  $h_{\text{внас}}$  – втрати напору всередині насоса.

$$\eta_m = \frac{N - N_m}{N},$$

де  $N_m$  – механічні втрати потужності в насосі.

*Основні параметри поршневого насоса односторонньої дії.*

Ідеальну (теоретичну) подачу розраховують за формулою [1]

$$Q_i = V_o n,$$

де  $V_o$  – робочий об'єм,  $n$  – кількість подвійних ходів поршня за одиницю часу.

Робочий об'єм визначають з виразу [1]

$$V_o = Sh,$$

де  $S$  – площа поршня;  $h$  – хід поршня.

Площа поршня

$$S = \frac{\pi D^2}{4},$$

де  $D$  – діаметр поршня.

Хід поршня

$$h = 2r.$$

Секундна подача насоса  $Q$ , (м<sup>3</sup>/с) [1]

$$Q = \frac{V_o n}{60} \eta_o,$$

де  $\eta_o$  – об'ємний К.К.Д. (беруть  $\eta_o = 0,8 - 0,97$ ) [1].

Задачі



1. Відцентровий насос перекачує воду з колодязя з рівнем води на 2,5 м нижче центру насоса в бак з рівнем води на 10 м вище центру насоса. Визначити напір, створюваний насосом, якщо діаметри та довжини всмоктувальної і нагнітальної труб відповідно дорівнюють  $d_1$  (мм),  $d_2$  (мм),  $l_1 = 10$  м,  $l_2 = 20$  м, коефіцієнт опору сітки на всмоктувальній трубі  $\zeta_1 = 4$ , коефіцієнт опору вентиля на нагнітальній трубі  $\zeta_2 = 5$ , коефіцієнт гідравлічного тертя труб  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,025$ , подача насоса  $Q_H$  (л/с), надлишковий тиск в баку  $P_H = 10 \cdot 10^5$  Па. Вихідні дані подано у таблиці 2.58.

Таблиця 2.58

Вихідні дані						
Задача №1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$d_1$	60	62	64	75	66	68
$d_2$	30	32	34	50	36	38
$Q_H$	1,5	1,6	1,7	2,8	1,8	1,9
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$d_1$	70	74	76	78	80	60
$d_2$	40	42	44	46	48	50
$Q_H$	2,0	2,2	2,4	3,2	3,6	2,6
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$d_1$	64	66	68	70	72	74
$d_2$	38	40	42	44	40	38
$Q_H$	2,8	2,4	2,5	2,6	2,7	2,5

2. Визначити потужність насоса, який подає воду в кількості  $Q$  (м<sup>3</sup>/год) за показів манометра і вакуумметра відповідно  $P_M$  (кПа);  $P_B$  (кПа). Прийняти швидкість руху в нагнітальному і всмоктувальному патрубках однаковою, а ККД насоса  $\eta = 0,8$ . Вихідні дані подано у таблиці 2.59.

Таблиця 2.59

Вихідні дані						
Задача №2						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$Q$	80	82	84	86	88	90
$P_M$	230	231	232	233	234	235
$P_B$	40	41	42	43	44	45
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12

Q	92	94	96	98	100	102
P <sub>м</sub>	236	237	238	239	240	241
P <sub>в</sub>	46	47	48	49	50	51
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
Q	104	106	108	110	93	95
P <sub>м</sub>	242	243	244	245	246	247
P <sub>в</sub>	52	53	54	55	47	48

3. Визначити коефіцієнт корисної дії насоса, який подає воду на геометричну висоту  $H_r$  (м). витрачаючи при цьому  $N_d$  (кВт). Подача дорівнює  $Q$  (м<sup>3</sup>/год). Діаметр трубопроводу  $d = 120$  мм. Сумарний коефіцієнт опору в усіх трубопроводах дорівнює  $\left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \xi\right) = 25$ . Визначити ККД насоса. Вихідні дані подано у таблиці 2.60.

Таблиця 2.60

## Вихідні дані

<b>Задача №3</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
$H_r$	20	21	22	23	24	25
Q	60	61	32	63	64	70
$N_d$	8,3	8,4	8,5	8,0	7,6	7,6
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
$H_r$	26	27	28	29	30	31
Q	65	66	67	68	69	70
$N_d$	7,7	7,8	7,9	7,0	7,1	7,2
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$H_r$	32	33	34	35	36	30
Q	71	65	66	67	68	69
$N_d$	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8

4. Поршневий насос простої дії діаметром  $d$  (мм) рухом поршня  $h$  (мм) заповнює бак об'ємом  $W$  (м<sup>3</sup>) за  $t$  хвилин. Визначити об'ємний ККД насоса якщо частота обертання кривошипу  $n$  (об/хв). Вихідні дані подано у таблиці 2.61.

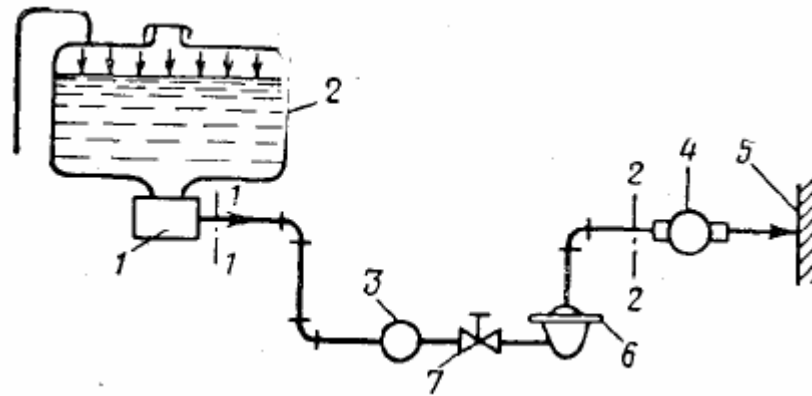
Таблиця 2.61

## Вихідні дані

<b>Задача №4</b>						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
d	200	210	220	240	260	300
h	140	150	160	150	160	200
w	1,0	1,1	1,2	1,3	1,35	1,25
t	2,3	2,25	2,26	2,27	2,2	2,0
n	30	32	34	36	38	40
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
d	280	300	320	200	205	214
h	170	180	185	160	200	170
w	1,3	1,33	1,34	1,35	1,36	1,35
t	2,1	2,15	2,14	2,0	2,1	2,27
n	42	44	46	48	50	52
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
d	216	218	220	222	224	226
h	180	185	140	150	160	150
w	1,4	1,43	1,23	1,12	1,1	1,0
t	2,2	2,0	2,3	2,25	2,26	2,27
n	54	56	58	60	62	64

5. Визначити потрібний натиск на виході з авіаційного насоса підкачки, який необхідний для подачі палива  $T_1$  в кількості  $G$  (кг/год) від витратного бака до паливного насоса на двигуні, якщо довжина трубопроводу з дюралюмінію  $l$  (м), його діаметр  $d$  (мм), потрібний тиск на вході в паливний насос  $p_2 = 1,3 \text{ кг/см}^2$ , коефіцієнт в'язкості гасу  $\nu = 0,045 \text{ см}^2/\text{с}$ , його густина  $\rho_r = 820 \text{ кг/м}^3$ . Висотою стовпа рідини в баку знехтувати. Коефіцієнти місцевого опору наведено у додатку В. Місцеві опори, встановлені в трубопроводі, показані на рисунку нижче.

Вихідні дані подано у таблиці 2.62.



1 – насос підкачки; 2 – видатковий бак; 3 – датчик витратоміра; 4 – основний паливний насос; 5 – двигун; 6 – фільтр; 7 – кран

Таблиця 2.62

## Вихідні дані

Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
G	1100	1110	1120	1130	1140	1150
l	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8
d	11	12	13	14	15	16
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
G	1160	1170	1180	1200	1210	1100
l	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
d	17	18	19	15	16	17
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
G	1110	1120	1130	1140	1150	1160
l	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
d	18	19	11	12	13	14

## III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Від яких чинників залежить напір, що створює насос?
2. Від яких чинників залежить потужність насоса?
3. Якими видами втрат визначається загальний ККД насоса?
4. Якими параметрами визначається робочий об'єм насоса?
5. Від яких чинників залежить потрібний тиск, який повинен бути на виході з насосу?

**Тема № 12:** Системи розвантаження насосів і регулювання гідродвигунів. Типові схеми гідросистем і гідроприводів.

**Практичне заняття № 9.** Гідропривід. Визначення основних параметрів гідроприводу.

Навчальна мета заняття: набуття практичних навичок у визначенні основних параметрів гідроприводу.

Кількість годин - 4. Місце проведення – навчальний кабінет коледжу.

#### **Навчальні питання:**

1. Визначення основних параметрів об'ємного гідроприводу.

Література: [1, с. 139-150, с. 156-161; 2, с. 129-133; 5, 111-122, с. 329-342].

#### **План проведення заняття:**

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Ознайомлення з темою, метою, переліком практичних завдань та переліком рекомендованої літератури. Варіанти індивідуального завдання вибираються за порядковим номером у журналі групи відповідно до таблиці після кожної задачі.

II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Залежність фізичних параметрів рідини від зовнішнього тиску.

1. Визначення основних параметрів об'ємного гідроприводу.

Теоретичні відомості до розв'язання задач

Гідравлічний привод (гідропривід) - це сукупність пристроїв, призначених для приведення в рух машин і механізмів за допомогою робочої рідини (гідравлічної енергії).

Блок-схема гідроприводу наведена на рис. 2.21. Гідравлічна енергія генерується насосом Н і перетворюється гідродвигуном ГД в механічну енергію. Пристрої управління УУ призначені для зміни параметрів потоку в гідролінії, а також в насосах і гідро-двигунах. Гідропривід представляє собою «гідравлічну вставку» між приводним двигуном ЕД (електродвигуном) і навантаженням М (машиною або механізмом) і виконує ті ж функції, що і механічна передача (ремінна, ланцюгова або зубчаста, редуктор, кривошипно-шатунний механізм).

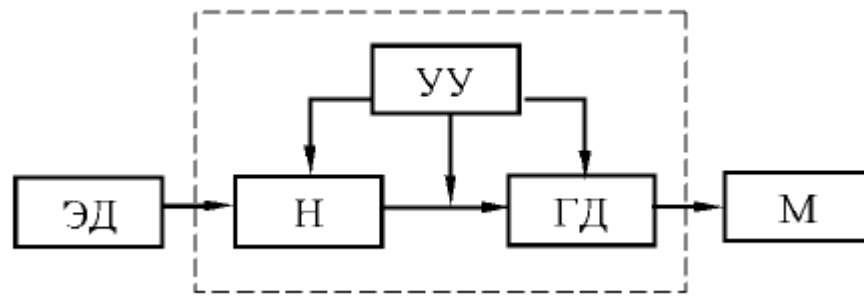


Рисунок 2.21 – Блок-схема гідроприводу

Приводом насоса можуть бути електричний, дизельний і інші двигуни, що забезпечують необхідну приводну потужність і число обертів валу насоса.

Гідропривід, до складу якого входить об'ємна гідромашина, а робоча рідина знаходиться під тиском, називається об'ємним (ОГП).

Основні елементи гідроприводу. У загальному випадку до складу гідроприводу входять гідропередача, пристрої управління, допоміжні пристрої і гідравлічні лінії.

Гідропередача складається з насоса (перетворювача механічної енергії в енергію рідини), гідродвигуна (перетворювача енергії потоку рідини в механічну енергію).

До пристроїв управління відносять гідроапарати для регулювання параметрів робочої рідини (тиску і витрати) і зміни напрямку потоку рідини в гідролінії: гідророзподільники, гідроклапани, гідродроселі та інші апарати.

Допоміжні пристрої забезпечують роботу гідроприводу під час експлуатації. До них відносять кондиціонери робочої рідини (гідроємностей, теплообмінники, гідроочисники), гідравлічні реле часу.

Гідролінії служать для проходження робочої рідини і з'єднання елементів гідроприводу в єдину гідросистему. Конструктивно гідролінії представляють собою труби, гнучкі рукави, коліна, трійники, канали свердління в гідропанелях.

Розглянемо принцип дії схеми гідроприводу, зображеної на рис. 2.22.

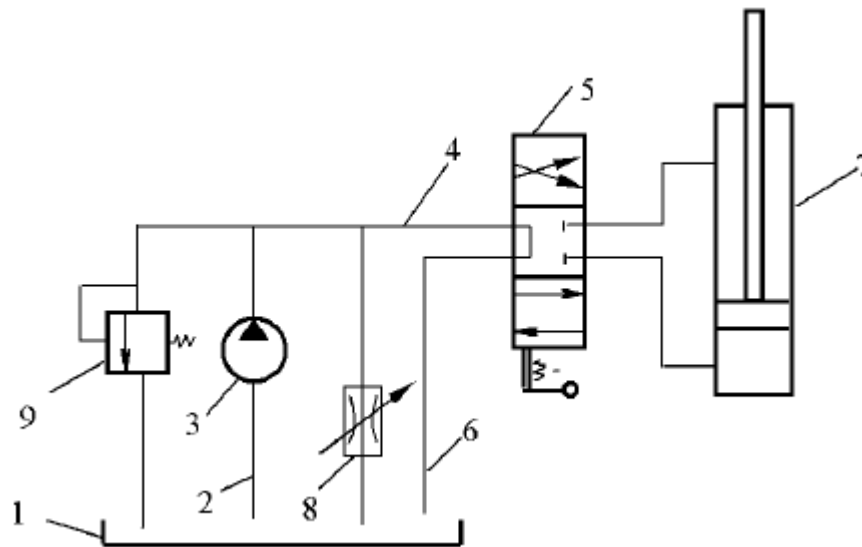


Рисунок 2.22 – Принципова схема гідроприводу

Робоча рідина з бака 1 через всмоктувальну гідролінію 2 насосом 3 подається через напірну лінію 4 в розподільник 5. При нейтральному положенні розподільного елемента (золотника) робоча рідина по зливній лінії 6 потрапляє в бак, тобто насос працює вхолосту. Шток гідроциліндра нерухомий, так як запірним елементом розподільника робоча рідина закрита в штоковій і безштоковій порожнинах.

При зміщенні золотника розподільника 5 вниз рідина від насоса через розподільник надходить в біс штокову порожнину гідроциліндра 7. З штокової порожнини рідина зливається в бак. Поршень при цьому рухається вгору. При зміщенні золотника вгору рідина від насоса потрапляє в штокову порожнину гідроциліндра, а з безштокової зливається в бак. Шток при цьому рухається вниз.

Швидкість руху штока гідроциліндра регулюють зміною прохідного перетину дроселя 8, змінюючи величину подачі насоса. Запобіжний клапан 9 призначений для захисту гідроприводу від різкого підвищення тиску в системі, що перевищує номінальний тиск насоса.

**Гідродвигуни.** Це пристрої перетворення гідравлічної енергії в механічну. Існують гідродвигуни обертального, поступального і поворотного руху.

Гідродвигун поступального руху називається гідравлічним циліндром, обертального руху - гідромотором.

*Гідромотор.* Витрата робочої рідини в гідромоторі визначається за формулою:

$$Q = \frac{q_M n_M}{\eta_{MO}},$$

де  $q_M$  – робочий об'єм гідромотора;  $n_M$  – частота обертання валу гідромотора;  $\eta_{MO}$  – об'ємний ККД гідромотора.

Перепад тиску в гідромоторі визначається залежністю [1]

$$\Delta p = \frac{2\pi M}{q_M \eta_{M.M}},$$

де  $M$  – крутний момент на валу гідромотора;  $\eta_{M.M}$  – механічний ККД гідромотора.

Коефіцієнт корисної дії гідромотора визначається відношенням корисної потужності гідромотора до підведеної (витраченої) [1]

$$\eta_M = \frac{N_{M.П}}{N_M},$$

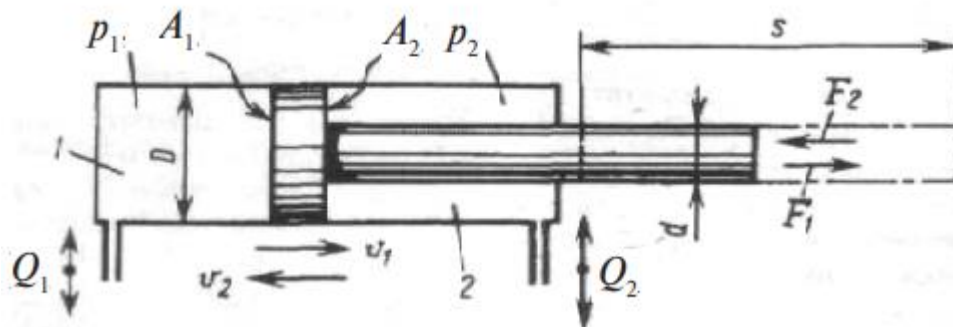
де  $N_{M.П} = M \cdot \omega_M = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_M$ .

ККД гідромотора можна визначити також за формулою [1]

$$\eta_M = \eta_{M.M} \eta_{M.O} \eta_{M.Г},$$

де  $\eta_{M.Г}$  – гідравлічний ККД гідромотора.

*Гідравлічний циліндр.* На рис. 2.23 показано основні параметри гідроциліндра. Основними параметрами гідроциліндра є: хід поршня  $S$ , діаметри поршня  $D$ , штоку  $d$ , номінальний тиск  $p_{ном}$ .



$p_1, p_2$  – тиск відповідно в безштоковій порожнині гідроциліндра і штоковій;  $A_1, A_2$  – площі поршня відповідно в безштоковій і штоковій порожнинах;  $F$  – сила, яку створює гідроциліндр;  $S$  – хід штока гідроциліндра;  $Q_1, Q_2$  – витрата робочої рідини у відповідній порожнині;  $v_1, v_2$  – швидкість руху штока у відповідному напрямку

Рисунок 2.23 – Параметри гідроциліндру [8]



У загальному випадку рівняння рівноваги поршня в гідравлічному циліндрі має вигляд [8]

$$F = F_H + F_{\text{тр}10} + F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} + G + F_{\text{пр}} + F_{\text{ін}},$$

де  $F_H$  – навантаження на шток гідроциліндра;  $F_{\text{тр}10}$  – сила тертя у вузлах машини (залежить від ваги деталей);  $F_{\text{тр}1}$  – сила тертя в ущільненні поршня;  $F_{\text{тр}2}$  – сила тертя в ущільненні штока;  $G$  – складова ваги деталей приводу, що діє уздовж штока (наприклад це вага усіх деталей, які знаходяться над вертикальним штоком);  $F_{\text{пр}}$  – сила протидії руху штоку, що виникає від опору тиску зливу рідини з не робочої порожнини;  $F_{\text{ін}}$  – сила інерції.

Очевидно, що потребу у визначенні і спосіб визначення сил  $F_{\text{тр}10}$ ,  $G$  і  $F_{\text{ін}}$  має бути визначено у кожному окремому випадку за конкретною схемою машини. У більшості випадків гідроциліндр не створює великих значень прискорень. Тому під час проектування гідроциліндрів приймають, що  $F_{\text{ін}} = 0$ .

Тоді рівняння рівноваги поршня в гідравлічному циліндрі матиме вигляд

$$F = F_H + F_{\text{тр}10} + F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} + F_{\text{пр}}.$$

Сила тертя  $F_{\text{тр}10}$  в робочих органах залежить від конструкції робочого органу, швидкості переміщення, матеріалу труться і т. д., визначається за формулою [7, с. 327]

$$F_{\text{тр}10} = fG = fmg,$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя в напрямних робочих органів, приймається  $f = 0,05 \dots 0,08$  при швидкостях руху понад  $0,2$  м/с;  $f = 0,10 \dots 0,12$  при швидкостях менше  $0,2$  м/с [7, 327].

Загальна формула для сили тертя в рухомих з'єднаннях при ущільненні манжетами визначається за формулою [6, с. 339]

$$F_{\text{тр}} = \pi DH(p - p_k)\mu z,$$

де  $D$  - діаметр ущільнюваної поверхні, мм;  $H$  – ширина манжети, мм;  $p$  - тиск масла, МПа;  $p_k = 2,5$  МПа – контактний тиск, що виникає при манжеті від її стисканні при монтажу;  $\mu = 0,1 \dots 0,13$  – коефіцієнт тертя;  $z$  - число манжет.

Сила тертя поршня і штока при установці в циліндрах різних гумових манжет і кільць може бути визначена за такими формулами [7, с. 329]

- для поршня [7]

$$F_{\text{тр}1} = \pi(zp_k + p_{\text{уп}})Db\mu_n;$$

- для штока при ущільнюючих кільцях з шевронним профілем [7]

$$F_{\text{тр}2} = \pi dh\mu_p;$$

- для штока з манжетним ущільненням [7]

$$F_{\text{тр2}} = \pi d h p \mu_{\text{ш}},$$

де  $D, d$  - діаметр поршня і штока, мм;  $b, h$  - ширина поршня і довжина ущільнення, мм;  $p$  - тиск в штоковій порожнині циліндра, МПа;  $p_k$  - тиск кільця на стінку циліндра, МПа;  $p_{\text{уп}}$  - тиск в ущільненні, МПа;  $z$  - число кілець;  $\mu_p, \mu_{\text{ш}}$  - коефіцієнти тертя поршня по циліндру і штока по ущільненню.

Значення  $p_{\text{уп}}$  під час розрахунків можна прийняти у межах 2,5-5 МПа [7].

Сила від опору витікання рідини в неробочих порожнинах циліндра  $A_1$  і  $A_2$  [7]:

$$F_{\text{пр}} = \Delta p_{\text{пр}} A_{1-2},$$

де  $\Delta p_{\text{пр}}$  - втрати тиску на тертя рідини при витіканні, Па, приймається  $\Delta p_{\text{пр}} = 0,05 \cdot p$  [7, с. 328];  $A_{1-2}$  - поршнева або штокова площа поршня,  $\text{м}^2$ .

Перепад тиску в циліндрі  $\Delta p$  [7]:

$$\Delta p = \frac{F}{A},$$

де  $F$  - сила, яку повинен створити гідроциліндр, Н;  $A$  - площа відповідної сторони поршня,  $\text{м}^2$ .

Під час проектного розрахунку сили тертя та інші чинники є невідомими. Тому, попередньо, силу, яку повинен створити гідроциліндр визначають так [8]:

$$F = k_3 F_n,$$

де  $k_3$  - коефіцієнт запасу, який можна приймати у межах 1,5...3.

Треба пам'ятати, що робочий тиск не є довільною величиною. Величина робочого тиску в циліндрі складає  $p_{\text{роб}} \approx 0,9 \cdot p_{\text{ном}}$ . Номінальний тиск повинен відповідати вимогам стандартів: ГОСТ 12445-80, ГОСТ 6540-68, або ОСТ 1.00095-73 Гидросистемы силовые летательных аппаратов. Давления.

За ГОСТ 6540-68 ряд значень тисків буде наступним

Номінальний тиск $P_{\text{ном}}$ , МПа												
0,63*	1,0*	1,6*	2,5	6,3	10,0	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0

Величина діаметру поршня, штока і ходу штока також повинні задовольняти вимоги ГОСТ 6540-68.

Витрату рідини у гідроциліндрі визначають за формулою [8]:

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2,$$

де  $v_1, v_2, A_1, A_2$  - позначення відповідають рис. 2.20.

Оскільки  $A_1 \neq A_2$  а насос працює у одному режимі то швидкості прямого і зворотного ходів будуть відрізнятись  $v_1 \neq v_2$ .

Якщо прийняти що витоки відсутні, то *подача насосу*  $Q_n$  буде дорівнювати витраті через гідроциліндр [8]:

$$Q = Q_n.$$

Виходячи із визначеної витрати рідини і рекомендованої швидкості течії рідини у трубопроводах визначають *діаметр трубопроводу* [8]:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_p}},$$

де  $v_p$  - рекомендована швидкість течії рідини у трубопроводах, табл. Г.1 додатку Г.

Отримане значення  $d_{\text{тр}}$  округлюють до найближчого стандартного значення за ГОСТ 16516-80: ... 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50..., мм.

*Механічний ККД гідроциліндра* [8]:

$$\eta_m = \frac{F}{F + F_{\text{тр}}},$$

де  $F$  – сила, яку створює гідроциліндр (зовнішнє навантаження);  $F_{\text{тр}}$  – сума сил тертя у гідроциліндрі.

*Гідравлічні дроселі.* Дросель в гідроприводі може бути регульованим (або нерегульованим) місцевим гідравлічним опором, площа прохідного отвору якого можна змінювати в процесі роботи. При цьому буде змінюватись витрата рідини.

Витрата через дросель будь-якої конструкції визначається за формулою [1, 8]:

$$Q_{\text{др}} = \mu_{\text{др}} \omega_{\text{др}} \sqrt{2g \frac{\Delta p_{\text{др}}}{\rho g}},$$

де  $\mu_{\text{др}}$  - коефіцієнт витрати через дросель (для щілинних і втулкових  $\mu_{\text{др}} = 0,64 \dots 0,7$ , для голчастих  $\mu_{\text{др}} = 0,75 \dots 0,8$ );  $\omega_{\text{др}}$  - площа прохідного перетину отвору;  $\Delta p_{\text{др}}$  - перепад тиску в дроселі [8].

*Визначення ККД гідроприводу.* Повний ККД гідроприводу поступального руху визначається за формулою [8]:

$$\eta = \eta_n \eta_c \eta_{\text{ц}} \text{ або } \eta = \frac{P v \eta_n}{p_n Q_n},$$

де  $\eta_n$  – ККД насоса;  $\eta_c$  – ККД гідросистеми без урахування об'ємних втрат;  $\eta_{\text{ц}}$  – ККД гідроциліндра;  $P = R$  - зовнішнє навантаження на шток;  $v$  - швидкість руху штока при робочому ході.

ККД гідросистеми без урахування об'ємних втрат [8]:

$$\eta_c = (p_n - \sum \Delta p) / p_n,$$

де  $p_n$  - тиск насоса (робочий);  $\sum \Delta p$  – сума усіх втрат тиску в гідросистемі.

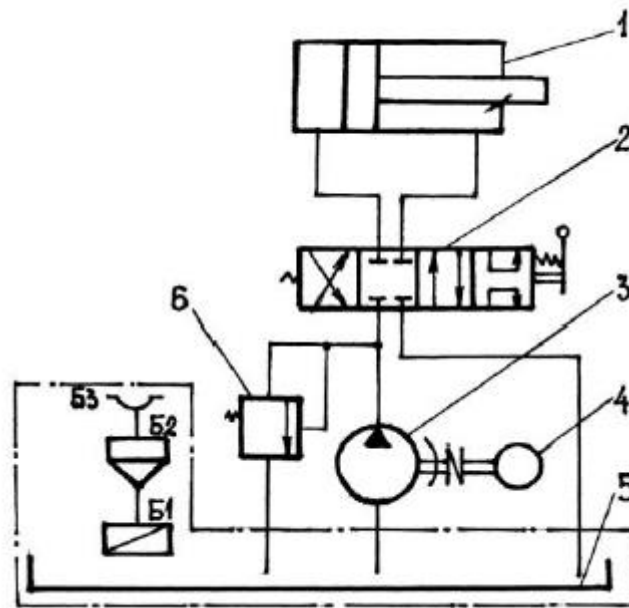
Повний ККД гідроприводу можна визначити також за наступною формулою [5]:

$$\eta = \frac{M 2\pi n_m \eta_n}{p_n Q_n}.$$

Тиск насоса  $p_n$  повинен забезпечити необхідний перепад тиску  $\Delta p_{гд}$  на гідродвигуні (гідроциліндрі) і компенсувати втрати тиску  $\Delta p_{тр}$  на тертя по довжині в гідромагістралі і на місцеві опори  $\sum \Delta p_{мі}$  в ній (рис. 2.24) [5]:

$$p_n = \Delta p_{г.д.} + \Delta p_{тр} + \sum_{i=1}^n \Delta p_{мі},$$

де  $n$  – кількість місцевих опорів у гідролінії.



1 - гідроциліндр; 2 - розподільник; 3 - насос; 4 - електродвигун; 5 - гідробак; 6 - клапан переді-охоронна; Б1 - сітка; Б2 - горловина заливна; Б3 - сапун

Рисунок 2.24 - Схема об'ємного гідроприводу з розімкненою циркуляцією робочої рідини

Втрати тиску  $\Delta p_{тр}$  на тертя, розподілені по довжині потоку, визначають за формулою [5]:

$$\Delta p_{тр} = \frac{\rho \lambda l v^2}{2d},$$

де  $l$  - довжина трубопроводу, м;  $d$  - його внутрішній діаметр, м;  $v$  - середня швидкість в перетинах потоку, м/с;  $\lambda$  - гідравлічний коефіцієнт тертя;  $\rho$  - щільність робочої рідини, що залежить від її фізичної природи і температури, кг/м<sup>3</sup>.

При ламінарному режимі течії (при  $Re < 2320$ ) з урахуванням вібрації транспортних машин гідравлічний коефіцієнт тертя розраховують за формулою [5]:

$$\lambda = \frac{A}{Re},$$

де  $A = 75$  для сталевих трубопроводів і  $A = 150$  для гнучких рукавів.

Швидкість руху рідини у трубопроводах обмежена рекомендованими значеннями, які наведено у табл. Г.1 додатку Г.

*Потужність на валу насоса* (кВт) визначають за формулою [5]:

$$N = \frac{P \cdot Q}{1000 \cdot \eta_n},$$

де  $P$  – тиск, який створює насос, Па;  $Q$  – потрібна подача, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_n$  – загальний ККД насоса за технічною характеристикою.

У попередніх розрахунках, коли тип насосу є невідомим, величини загального  $\eta_n$  і об'ємного  $\eta_{об.н}$  ККД для різних типів насосів можуть бути прийняті за статистичними даними у таких межах [6]:

шестеренних  $\eta_n = (0,80 \div 0,85)$ ;  $\eta_{об.н} = (0,90 \div 0,94)$ ;

аксіально-поршневих  $\eta_n = (0,85 \div 0,90)$ ;  $\eta_{об.н} = (0,95 \div 0,98)$ ;

пластинчастих  $\eta_n = (0,60 \div 0,80)$ ;  $\eta_{об.н} = (0,70 \div 0,90)$ ;

коефіцієнт втрат тиску в гідросистемі  $\eta_r = (0,75 \dots 0,9)$ .

*Послідовність проектного розрахунку об'ємного приводу з гідроциліндром.*

1. Значення зовнішнього навантаження і хід штока визначено у завданні.

2. Вибравши робочий тиск визначають діаметр поршня, прийнявши попередньо коефіцієнт запасу.

3. Визначають діаметр штока. У кінцевому варіанті діаметр штока перевіряють на стійкість.

4. По заданій швидкості переміщення штока визначається необхідна витрата масла.

5. Уточняється значення робочого тиску за точними значеннями сил, що діють на поршень. У разі потреби змінюють значення діаметрів чи тиск.

6. Визначають діаметри трубопроводів.

7. Визначають значення втрат тиску.

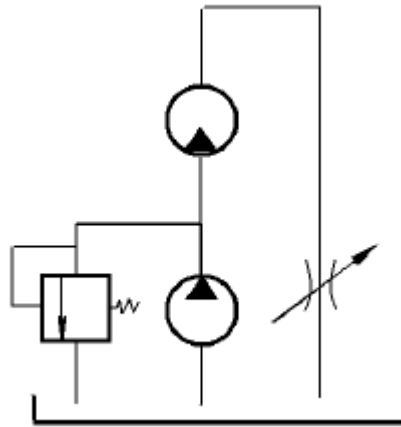
8. Визначають значення тиску, який повинен створити насос.

9. Визначають потрібну потужність для приводу насосу.

10. Виконують перевірку відповідності режиму роботи насоса ( $H$  і  $Q$ ) найбільшому значенню ККД за характеристикою вибраного насосу. У випадку, коли режим роботи насоса не відповідає зоні найбільших значень ККД насоса необхідно виконати перерахунок параметрів системи так, щоб змінився режим роботи насоса.

### Задачі

1. Визначити необхідну подачу насоса і коефіцієнт корисної дії (ККД) гідравлічного приводу, схема якого зображена на рис. 14.3. ККД насоса  $\eta_n=0,74$ , робочий об'єм гідромотора  $q_m$  ( $\text{м}^3$ ), частота обертання валу  $n_m$  ( $\text{с}^{-1}$ ), крутний момент на валу гідромотора  $M_H$  (Нм). ККД гідромотора: механічний  $\eta_{mm} = 0,82$ , об'ємний  $\eta_{mo}=0,91$ . Втрати (перепад) тиску в розподільнику  $\Delta p_p = 0,15$  МПа. Довжина гідроліній (загальна)  $l = 2$  м, діаметр труб  $d$  (мм). Коефіцієнт місцевого опору повороту труби (коліна)  $\zeta = 0,2$ , кількість поворотів  $m = 6$ . Коефіцієнт тертя  $\lambda=0,035$ . Щільність робочої рідини  $\rho_m = 780$   $\text{кг/м}^3$ . Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.63.

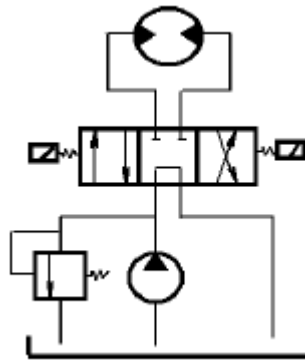
Таблиця 2.63

### Вихідні дані

Задача №1						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$q_m$	$50 \cdot 10^{-6}$	$52 \cdot 10^{-6}$	$54 \cdot 10^{-6}$	$55 \cdot 10^{-6}$	$58 \cdot 10^{-6}$	$60 \cdot 10^{-6}$
$M_H$	40	42	44	45	47	48
$n_m$	8	9	10	11	12	13

d	16	18	20	22	24	26
	<i>Варіант 7</i>	<i>Варіант 8</i>	<i>Варіант 9</i>	<i>Варіант 10</i>	<i>Варіант 11</i>	<i>Варіант 12</i>
$q_m$	$62 \cdot 10^{-6}$	$63 \cdot 10^{-6}$	$65 \cdot 10^{-6}$	$58 \cdot 10^{-6}$	$60 \cdot 10^{-6}$	$63 \cdot 10^{-6}$
$M_H$	50	52	54	55	56	58
$n_m$	14	15	16	12	13	14
d	28	20	22	14	16	18
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$q_m$	$64 \cdot 10^{-6}$	$66 \cdot 10^{-6}$	$68 \cdot 10^{-6}$	$70 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$53 \cdot 10^{-6}$
$M_H$	60	62	64	65	68	70
$n_m$	15	16	17	18	19	20
d	20	22	24	26	16	18

2. Визначити необхідну подачу насоса і ККД гідроприводу (схема на рис. 14.4), якщо ККД насоса  $\eta_n$ , робочий об'єм гідромотора  $q_m$  (м<sup>3</sup>), частота обертання валу гідромотора  $n_m$ . Крутний момент на валу гідромотора  $M_m$ , механічний ККД гідромотора  $\eta_{mm} = 0,8$ , об'ємний ККД гідромотора  $\eta_{mo} = 0,90$ . Втрати тиску в розподільнику  $\Delta p_p = 0,25$  МПа. Довжина гідроліній  $l$  (м), внутрішній діаметр лінії  $d$  (мм). Кількість поворотів  $m$ , коефіцієнт місцевого опору одного повороту  $\zeta = 0,2$ , коефіцієнт тертя  $\lambda = 0,03$ . Щільність робочої рідини  $900 \text{ кг/м}^3$ . Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



Вихідні дані подано у таблиці 2.64.

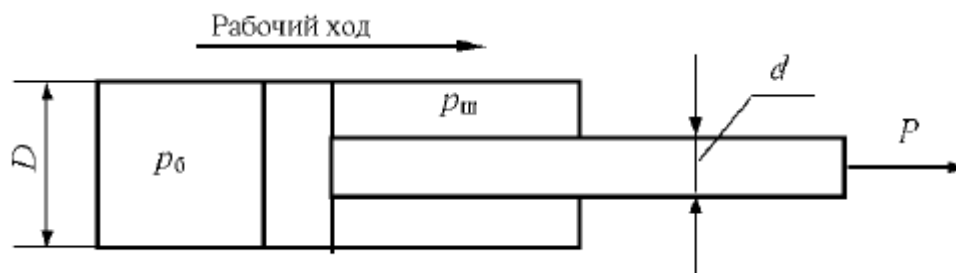
Таблиця 2.64

Вихідні дані						
Задача №2						
	<i>Варіант 1</i>	<i>Варіант 2</i>	<i>Варіант 3</i>	<i>Варіант 4</i>	<i>Варіант 5</i>	<i>Варіант 6</i>
$\eta_n$	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
$q_m$	$160 \cdot 10^{-6}$	$170 \cdot 10^{-6}$	$180 \cdot 10^{-6}$	$190 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-6}$	$210 \cdot 10^{-6}$
$n_m$	3	4	5	6	7	8

$M_M$	80	90	100	110	120	130
$l$	3	4	5	6	3	4
$m$	2	4	5	6	7	8
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$\eta_H$	0,76	0,77	0,78	0,75	0,76	0,77
$q_M$	$220 \cdot 10^{-6}$	$230 \cdot 10^{-6}$	$235 \cdot 10^{-6}$	$160 \cdot 10^{-6}$	$170 \cdot 10^{-6}$	$180 \cdot 10^{-6}$
$n_M$	9	10	11	11	10	9
$M_M$	140	150	160	160	150	145
$l$	5	6	2	6	3	4
$m$	9	9	10	2	4	5
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$\eta_H$	0,78	0,74	0,7	0,71	0,72	0,73
$q_M$	$190 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-6}$	$210 \cdot 10^{-6}$	$220 \cdot 10^{-6}$	$230 \cdot 10^{-6}$	$235 \cdot 10^{-6}$
$n_M$	8	7	6	5	4	3
$M_M$	140	135	130	125	120	115
$l$	5	6	2	4	5	6
$m$	6	8	9	9	10	11

3. Діаметр гідравлічного циліндру  $D$  (мм), діаметр штока  $d$  (мм). При робочому ході штока тиск в безштоковій порожнині циліндра  $p_6$  (МПа) а в штоковій порожнині  $p_{ш} = 0,5$  МПа. Ущільнення штока і поршня виконано шевронними гумовими манжетами (ширина ущільнення штока  $b_{ш} = 15$  мм, ширина ущільнення поршня  $b_{п} = 30$  мм) по одній штуці. Схема гідравлічного циліндра представлена на рис. 14.8.

Потрібно визначити: 1) силу тертя в ущільненнях поршня і штока під час робочого ходу; 2) зусилля на штоку  $P$ ; 3) Механічний ККД гідроциліндра при робочому ході (робочий хід відповідає виходу штока з циліндра). Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



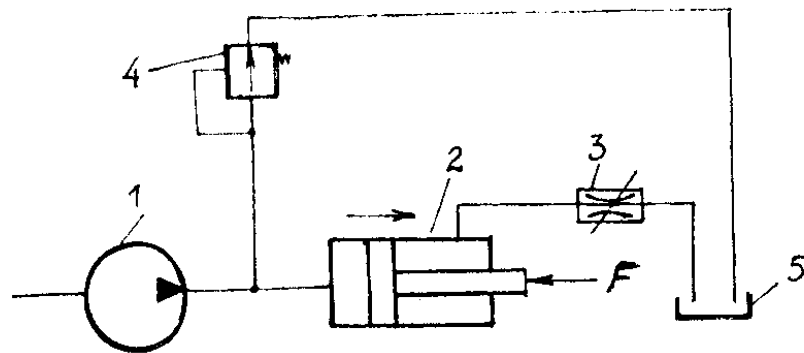
Вихідні дані подано у таблиці 2.65.



## Вихідні дані

Задача №3						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
D	25	26	24	25	26	27
d	12	10	8	10	11	12
p <sub>б</sub>	16	10	6	7	8	9
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
D	28	8	9	24	25	26
d	13	4	5	11	12	13
p <sub>б</sub>	10	4	6	8	9	10
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
D	27	28	29	30	31	32
d	14	15	16	17	18	19
p <sub>б</sub>	11	12	13	14	15	16

4. Під яким тиском  $p_n$  потрібно підвести рідину ( $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ ) до лівої порожнини гідроциліндра (рис. 7.6) для переміщення поршня вправо зі швидкістю  $v_n$  (м/с) і подолання навантаження на штоку  $F$  (кН), якщо коефіцієнт місцевого опору дроселя  $\xi_{др} = 10$ ? Іншими місцевими опорами і втратами на тертя в гідроприводі знехтувати. Діаметри: поршня  $D$  (мм); трубопроводу  $d_t$  (мм). Розрахункову схему показано на наступному рисунку.



1 - насос; 2 - гідроциліндр; 3 - регульований дросель;  
4 - переливної клапан; 5 – бак

Вихідні дані подано у таблиці 2.66.

Таблиця 2.66

## Вихідні дані

Задача №4						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$v_{\Pi}$	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,02
F	70	72	75	74	75	76
D	60	64	66	68	70	72
$d_T$	10	12	14	16	18	20
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$v_{\Pi}$	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04
F	77	78	79	80	81	52
D	74	75	78	80	82	84
$d_T$	22	10	12	14	16	18
	Варіант 13	Варіант 14	Варіант 15	Варіант 16	Варіант 17	Варіант 18
$v_{\Pi}$	0,05	0,03	0,04	0,05	0,06	0,04
F	74	75	76	77	78	79
D	86	88	76	78	80	75
$d_T$	20	22	10	12	14	16

5. Тип привода – об’ємний з дросельним регулюванням. Робоче навантаження на гідроциліндр  $F_H$  (кН), швидкість прямого ходу  $v_1$  (м/с), довжина робочого ходу  $S$  (мм). Трубопроводи сталеві. Довжина трубопроводу від насоса до гідроциліндра  $l$ . Кількість поворотів 4, коефіцієнт місцевого опору одного повороту  $\zeta=0,2$ , коефіцієнт тертя  $\lambda=0,03$ . Втрати тиску в розподільнику  $\Delta p_p=0,25$  МПа. Визначити параметри гідроциліндра, визначити потужність насосу. Вихідні дані подано у таблиці 2.67.

Таблиця 2.67

## Вихідні дані

Задача №5						
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
$F_H$	3	4	5	6	7	8
$v_1$	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
S	60	65	70	75	80	85
$l$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	Варіант 7	Варіант 8	Варіант 9	Варіант 10	Варіант 11	Варіант 12
$F_H$	9	1	2	3	4	5
$v_1$	0,08	0,09	0,1	0,06	0,07	0,08

S	90	95	100	80	85	90
$l$	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
	<i>Варіант 13</i>	<i>Варіант 14</i>	<i>Варіант 15</i>	<i>Варіант 16</i>	<i>Варіант 17</i>	<i>Варіант 18</i>
$F_H$	6	7	8	9	10	11
$v_1$	0,09	0,1	0,02	0,03	0,04	0,05
S	95	100	60	65	70	75
$l$	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

### III. Порядок проведення заключної частини заняття.

У звіті з практичних робіт потрібно надати відповіді на наступні контрольні питання.

1. Які, основні, пристрої необхідні для створення гідроприводу?
2. Які сили діють на поршень зі штоком гідроциліндру?
3. Від яких чинників залежить швидкість руху штока гідроциліндру?
4. Яким чином визначити тиск, який повинен створювати насос гідроприводу?
5. Яким чином визначити потрібну потужність насоса гідроприводу?

## 3. Рекомендована література

### Основна література:

1. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник / В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський та ін. За ред. В. О. Федорця. — Київ: Вища шк. 1995. — 463 с.
2. Гідравліка і гідропривод: довідник / В.Г. Федоров, Н.С. Мамелюк, О.І. Кепко, О.С. Пушка; за ред. В.Г.Федорова. Умань: Видавничо поліграфічний центр «Візаві», 2017. — 135 с
3. Рогалевич Ю.П. Гідравліка / Ю.П. Рогалевич. — К. : Вища шк., 1993. — 255 с.
4. Холоменюк М.В. Насосні та вентиляторні установки. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. — 330 с.
4. Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу: Підручник. Вища шк., 2002. — 277 с.
5. Гідропривід сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д. Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. — К.: Вища освіта, 2004. — 368 с.

### Додаткова

6. Свешников, А.Г. Станочные гидроприводы / А.Г. Свешников. — М. : Машиностроение, 2004. — 512 с

7. Металлорежущие станки : учеб. пособие для вузов. – М. : Машиностроение, 1990. – 500 с
8. Д.Ю. Воронов, В.В. Волосков, А.О. Драчев, О.В. Бойченко. Гидроцилиндры: учеб.-метод. пособие / Д.Ю. Воронов [и др.]. – Тольятти : ТГУ, 2011. – 72 с.
9. Левицький Б. Ф. Гідравліка. Загальний курс / Б. Ф. Левицький. Н. П. Лещій. — Львів: Світ, 1994. — 264 с.

## Фізичні властивості рідин

Таблиця А.1

## Щільність рідин

Рідина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Рідина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Ртуть	13600	Масло машинне	900
Сірчана кислота	1800	Керосин	800
Мед	1350	Спирт	800
Вода морська	1030	Нафта	800
Вода чиста	1000	Ацетон	790
Молоко	1030	Ефір	710
Масло соняшникове	930	Бензин	710

Таблиця А.2

## Середнє значення коефіцієнта об'ємного стискання рідин

Рідина	Коефіцієнт об'ємного стискання, м <sup>2</sup> /Н	Рідина	Коефіцієнт об'ємного стискання, м <sup>2</sup> /Н
Бензин	$92 \cdot 10^{-11}$	Пентан	$314 \cdot 10^{-11}$
Вода чиста	$47,5 \cdot 10^{-11}$	Ртуть	$3,71 \cdot 10^{-11}$
Вода морська	$43,1 \cdot 10^{-11}$	Сірководень	$85,9 \cdot 10^{-11}$
Гліцерин	$24,8 \cdot 10^{-11}$	Спирт етиловий	$76,0 \cdot 10^{-11}$
Керосин	$68,7 \cdot 10^{-11}$	Ефір	$110 \cdot 10^{-11}$

Таблиця А.3

Модуль пружності масла Е (при 20<sup>0</sup>С)

Рідина	Модуль пружності, Н/м <sup>2</sup>	Рідина	Модуль пружності, Н/м <sup>2</sup>
Ацетон	$0,78740 \cdot 10^9$	Керосин	$1,21951 \cdot 10^9$
Бензол	$1,03093 \cdot 10^9$	Ртуть	$26,31579 \cdot 10^9$
Вода дистильована	$2,12766 \cdot 10^9$	Спирт етиловий	$0,85470 \cdot 10^9$
Гліцерин	$4,54545 \cdot 10^9$	Ефір	$0,69930 \cdot 10^9$

Таблиця А.4

Значення коефіцієнта  $\beta_t$  деяких рідин при температурі 30°C і тиску 0,1 МПа

Рідина	$\beta_t, ^\circ\text{C}^{-1}$	Рідина	$\beta_t, ^\circ\text{C}^{-1}$
Спирт етиловий	0,00110	Масло:	
Вода	0,00015	оливкове	0,00072
Гліцерин	0,00050	ріпакове	0,00090
Нафта	0,00030	Ртуть	0,00018

Таблиця А.5

Теплофізичні властивості води на лінії насичення

$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{бар}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p$ $\text{кДж/(кг}\cdot\text{град)}$	$\lambda,$ $\text{Вт/(м}\cdot\text{град)}$	$a, 10^7$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu, 10^{-6},$ $\text{Н}\cdot\text{с} / \text{м}^2$	$\nu, 10^{-6},$ $\text{м}^2 / \text{с}$	$\beta, 10^{-4}$ $1/\text{град}$	$\sigma, 10^{-4}$ $\text{кГ/м}$	$Pr$
0	1,01	999,9	4,212	0,551	1,31	1787,8	1,789	-0,63	77,1	13,67
10	1,01	999,7	4,191	0,574	1,37	1305,3	1,306	+0,7	75,6	9,52
20	1,01	998,2	4,183	0,599	1,43	1004,2	1,0006	1,82	74,1	7,02
40	1,01	992,2	4,174	0,634	1,53	653,2	0,659	3,87	71,0	4,31
60	1,01	983,2	4,178	0,659	1,60	468,8	0,478	5,11	67,5	2,98
80	1,01	971,8	4,195	0,674	1,66	355,0	0,365	6,32	63,8	2,21
100	1,01	958,4	4,220	0,683	1,69	383,4	0,295	7,52	60,0	1,75
120	1,99	943,1	4,25	0,686	1,71	237,3	0,252	8,64	55,9	1,47
140	3,62	926,1	4,287	0,685	1,72	201,0	0,217	9,72	51,7	1,26
160	6,18	907,4	4,346	0,683	1,73	173,6	0,191	10,7	47,5	1,10
180	10,03	886,9	4,417	0,674	1,72	153,0	0,173	11,9	43,1	1,00
200	15,55	863,0	4,505	0,663	1,70	136,3	0,158	13,3	38,4	0,93
220	23,20	840,3	4,614	0,646	1,66	124,6	0,148	14,8	33,8	0,89
240	33,48	813,6	4,756	0,628	1,62	114,7	0,141	16,8	29,1	0,87
260	46,59	784,0	4,949	0,605	1,56	105,9	0,135	19,7	24,2	0,87
280	64,20	750,7	5,229	0,574	1,46	98,1	0,131	23,7	19,5	0,90
300	85,92	712,5	5,736	0,540	1,32	91,2	0,128	29,2	14,7	0,97
320	112,90	667,1	6,573	0,506	1,15	85,3	0,128	38,2	10,0	1,11
340	146,08	610,1	8,164	0,457	0,92	77,5	0,127	53,4	5,78	1,39
360	186,81	528,0	13,98	0,396	0,54	66,7	0,126	109,0	2,06	2,35
370	210,54	450,5	40,42	0,337	0,18	56,9	0,126	264,0	0,48	6,79

Таблиця А.6

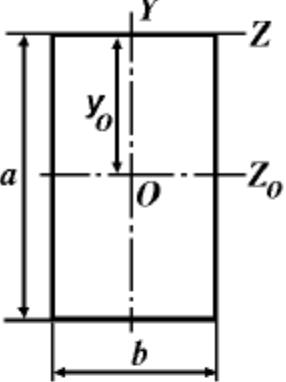
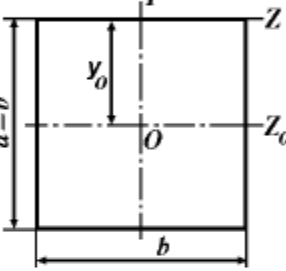
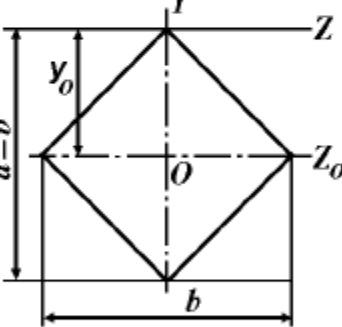
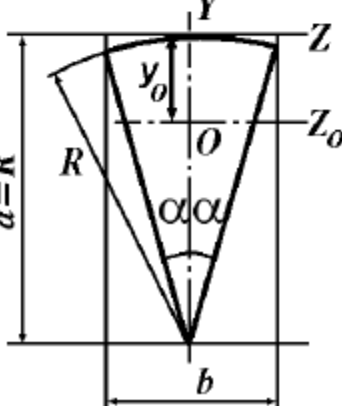
## Одиниці виміру тиску

Одиниця тиску	Па	бар	атм	ат	psi	м вод. ст.	мм рт. ст.
Па	1	$10^{-5}$	$9,869 \cdot 10^{-6}$	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$1,45038 \cdot 10^{-4}$	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	$7,50062 \cdot 10^{-3}$
бар	$10^5$	1	0,9869	1,0197	14,5038	10,1972	750,062
атм	101325	1,0133	1	1,0333	14,6959	10,3323	760
ат	98066,5	0,9807	0,9678	1	14,2233	10,0	735,559
psi	6894,77	0,0689	0,06805	0,0703	1	0,7031	51,7152
м вод. ст.	9806,65	0,0981	0,09678	0,1	1,42233	1	73,5559
мм рт. ст.	133,323	$133,323 \cdot 10^{-5}$	$1,3158 \cdot 10^{-6}$	$1,3595 \cdot 10^{-3}$	0,01934	0,0136	1

## Момент інерції площі плоских фігур

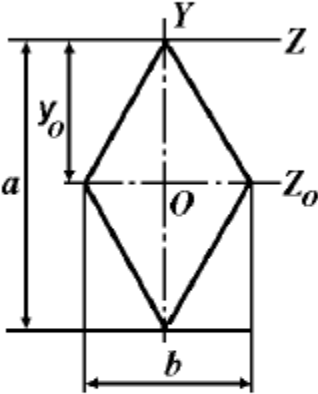
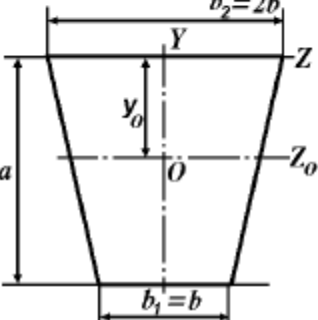
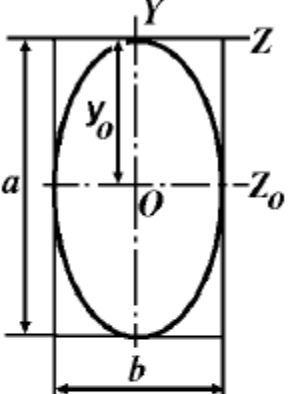
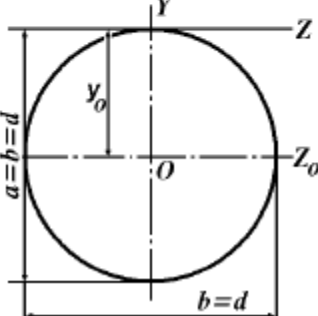
Таблиця Б.1

Характеристики плоских перетинів

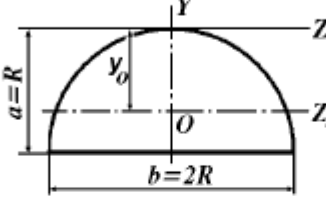
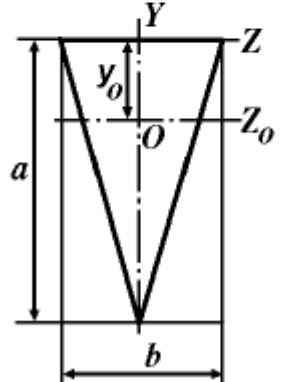
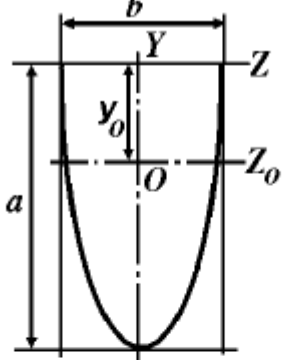
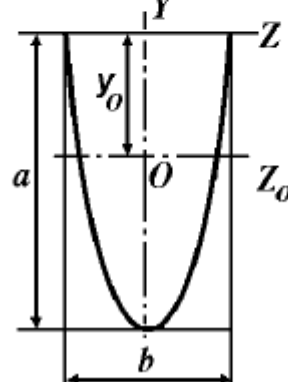
ФОРМА ПЕРЕРІЗУ	ПЛОЩА ПЕРЕРІЗУ $\omega$ , КООРДИНАТА ЦЕНТРУ ВАГИ $y_o$ , МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ $I_{z_o}$		
ПРЯМОКУТНИК 	$\omega = ab$	$y_o = \frac{a}{2}$	$I_{z_o} = \frac{ba^3}{12}$
КВАДРАТ 	$\omega = ab = b^2$	$y_o = \frac{b}{2}$	$I_{z_o} = \frac{b^4}{12}$
КВАДРАТ НА РЕБРІ 	$\omega = \frac{ab}{2} = \frac{b^2}{2}$	$y_o = \frac{b}{2}$	$I_{z_o} = \frac{b^4}{48}$
КРУГОВИЙ СЕКТОР 	$\omega = \alpha R^2, \alpha = \frac{\pi \alpha^\circ}{180^\circ},$ $y_o = R \left( 1 - \frac{2 \sin \alpha}{3\alpha} \right),$ $I_{z_o} = \frac{R^4}{8} \left( 2\alpha + \sin 2\alpha - \frac{32 \sin^3 \alpha}{9\alpha} \right)$		



Продовження таблиці Б.1

ФОРМА ПЕРЕРІЗУ	ПЛОЩА ПЕРЕРІЗУ $\omega$ , КООРДИНАТА ЦЕНТРУ ВАГИ $y_o$ , МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ $I_{z_o}$		
<p>РОМБ</p> 	$\omega = \frac{ab}{2}$	$y_o = \frac{a}{2}$	$I_{z_o} = \frac{ba^3}{48}$
<p>ТРАПЕЦІЯ</p> 	$\omega = \frac{1}{2}(b_1 + b_2)a, \quad y_o = \frac{a}{3} \cdot \frac{b_1 + 2b_2}{b_1 + b_2},$ $I_{z_o} = \frac{a^3}{36} \cdot \frac{b_1^2 + 4b_1b_2 + b_2^2}{b_1 + b_2}$		
<p>ЕЛІПС</p> 	$\omega = \pi \frac{ab}{4}$	$y_o = \frac{a}{2}$	$I_{z_o} = \pi \frac{a^3b}{64}$
<p>КОЛО</p> 	$\omega = \pi \frac{d^2}{4}$	$y_o = \frac{d}{2}$	$I_{z_o} = \pi \frac{d^4}{64}$

Продовження таблиці Б.1

ФОРМА ПЕРЕРІЗУ	ПЛОЩА ПЕРЕРІЗУ $\omega$ , КООРДИНАТА ЦЕНТРУ ВАГИ $y_o$ , МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ $I_{z_o}$		
<p>НАПІВКОЛО</p> 	$\omega = \pi \frac{R^2}{2}, \quad y_o = R \left( 1 - \frac{4}{3\pi} \right),$ $I_{z_o} = \frac{R^4}{256} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right)$		
<p>ТРИКУТНИК</p> 	$\omega = \frac{1}{2} ab$	$y_o = \frac{a}{3}$	$I_{z_o} = \frac{ba^3}{36}$
<p>НАПІВЕЛІПС</p> 	$\omega = \pi \frac{ab}{4}, \quad y_o = \frac{4}{3\pi} a,$ $I_{z_o} = \frac{ba^3}{2} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right)$		
<p>ПАРАБОЛІЧНИЙ СЕГМЕНТ</p> 	$\omega = \frac{2}{3} ab, \quad y_o = \frac{2}{5} a,$ $I_{z_o} = \frac{8}{175} ba^3$		

## Дані до розрахунку коефіцієнтів опору

Таблиця В.1

Залежність кінематичного коефіцієнту в'язкості води від температури

$t, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	10	15	20
$\nu, \times 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$	1,79	1,725	1,660	1,610	1,560	1,520	1,310	1,140	1,010
$t, ^\circ\text{C}$	25	30	40	50	60	70	80	90	100
$\nu, \times 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$	0,90	0,81	0,60	0,56	0,48	0,42	0,37	0,33	0,29

Таблиця В.2

Щільність і кінематична в'язкість деяких рідин (при 20  $^\circ\text{C}$ )

Рідина	Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Густина, $\rho, \text{ кг/м}^3$	Кінематична в'язкість, $\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$
<b>Нафтопродукти</b>			
Бензин авіаційний	20	710-780	0,4-0,5
Автомобільний	20	690-760	0,55-0,75
Дизельне паливо	20	830-860	2-6
Гас	20	790-860	2,5
Мазут	80	880-940	43-420
<b>Масило авіаційне</b>			
МС-14	100	860	14
МС-20	100	870	20,5
МК-22	100	880	22
АС-6	100	860	6
АС-8	100	870	8
АС-10	100	870	10
ДС-8	100	860	8
ДС-11	100	880	11
<b>Масило моторне</b>			
МТ-14п	100	870	13,5-14,5
МТ-16п	100	870	16-17,5
МН-7,5	100	870	7,5
МС-6	50	850	6
М-20М	100	850	20
<b>Масило індустріальне</b>			
І-5А	50	890	4-5
І-8А	50	900	6-8
І-12А	50	880	10-14
<b>Масило індустріальне</b>			
І-5А	50	890	4-5
І-8А	50	900	6-8

Таблиця В.3

Середні значення еквівалентної шорсткості

Труби	$k_s$ , мм
Тягнені труби із скла і кольорових металів, нові	0...0,002 (0,001)*
Сталеві суцільнотягнені нові	0,01...0...0,02 (0,014)
Те ж, після експлуатації	0,15...0...0,3 (0,2)
Сталеві зварені нові	0,03...0,1 (0,06)
Те ж, помірно заржавілі	0,3...0,7 (0,5)
Те ж, старі заржавілі	0,8...1,5 (1,0)
Чавунні нові	0,25...1...1,0
Чавунні і сталеві зварені ненові	0,8...1...1,5
Азбоцементні нові	0,05...0...0,1
Те ж, ненові	0,6
Бетонні і залізобетонні	0,3...0...0,8

\* - середнє значення

Таблиця В.4

Коефіцієнти місцевих опорів

Вид опору	$\zeta_{\text{лв}}$
Пробковий кран	0,4...1...1,5
Вентиль	2,5...6
Засувка, цілком відкрита	0,17
Вхід із резервуара в трубу	0,5
Вихід із труби в резервуар	1
Теж, зі зворотним клапаном	10
Різкий поворот труби на кут 30°	0,155
Те ж на кут 45°	0,318
60°	0,555
90°	1,19
Плавний поворот на кут $\phi$ при радіусі повороту $R_n = 1,5 \cdot D$	$0,45 \cdot (\phi/90^\circ)$
при радіусі повороту $R_n = 2,5 \cdot D$	$0,42 \cdot (\phi/90^\circ)$

Таблиця В.5

## Коефіцієнти опору типових елементів гідросистем

Тип місцевого опору	$\zeta$
Вхід у трубу з гострими кромками	0,5
Вхід у трубу з заокругленими кромками	0,2
Різкий поворот труби на $90^\circ$	1,1
Плавний поворот труби на $90^\circ$	0,15
Повністю відкрита засувка	0,15
Дросель повністю відкритий	4,0
Усмоктуючий клапан з сіткою для насосу	2,5...12,0
Фільтр	2...3
Золотниковий розподільник	2...4
Трійник	0,3
Вентиль звичайний	6,0
Кран пробковий	0,4
Шаровий клапан	45
Витратомір	3,0

Таблиця В.6

## Значення коефіцієнтів витікання для різних видів насадків

Тип насадка	$\varepsilon$	$\varphi$	$\mu$
Круглий отвір	0,64	0,97	0,62
Зовнішній циліндричний насадок	1,0	0,82	0,82
Внутрішній циліндричний насадок	1,0	0,707	0,707
Конічно розбіжний при $\theta = 5-7^\circ$	1,0	0,45-0,50	0,45-0,50
Конічно східний при $\theta = 13^\circ 24'$	0,98	0,96	0,94
Колодальний	1,0	0,98	0,98

Таблиця В.7

Залежність коефіцієнту витрати витратоміра Вентурі від числа Рейнольдса (при  $d_2/d_1 = 1/2$ )

Re	200	400	600	800	$1 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
$\mu$	0,70	0,80	0,84	0,86	0,88	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

## Рекомендовані швидкості руху рідини у трубопроводах

Таблиця Г.1

Припустимі значення швидкості рідини у трубопроводах об'ємного гідроприводу

Тип гідролінії	Швидкість, що рекомендується, м/с
Усмоктуюча	1,0...1,5
Виконавча	2,0...3,0
Зливна	1,0...2,0
Нагнітальна при тиску:	
до 2,5 МПа	3,0
2,5...5,0 МПа	4,0
5,0...10,0 МПа	5,0
понад 15,0 МПа	8,0...10,0

Примітка. Вказані значення припустимих швидкостей використовуються для коротких трубопроводів ( $l/d \leq 100$ , де  $l$  і  $d$  довжина і діаметр трубопроводу відповідно). Для довгих трубопроводів ( $l/d > 100$ ) вказані величини швидкостей потрібно зменшити на 30...50%.