

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і  
торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**О.В. Омельченко, В.В. Перекрест**

## **ГІДРОГАЗОДИНАМІКА**

**Методичні рекомендації для вивчення  
дисципліни**

**Ступінь: бакалавр**

**Кривий Ріг  
2019**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Донецький національний університет економіки і**  
**торгівлі імені Михайла Туган-Барановського**

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**О.В. Омельченко, В.В. Перекрест**

## **ГІДРОГАЗОДИНАМІКА**

**Методичні рекомендації для вивчення дисципліни**

**Ступінь: бакалавр**

Затверджено на засіданні  
кафедри загальноінженерних дисциплін  
та обладнання  
Протокол №1  
від «28» серпня 2019 р.

Схвалено навчально-методичною  
радою  
ДонНУЕТ  
Протокол №1  
від «29» серпня 2019 р

**Кривий Ріг**  
**2019**

УДК 533(072)  
О 57

**Омельченко О.В., Перекрест В.В.**

**О 57** Гідрогазодинаміка [Текст] : метод. рук. до вивч. дисц. / Омельченко О.В., В.В. Перекрест; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2019. – 64 с.

Методичні рекомендації призначені для студентів всіх форм навчання і покликані допомогти студентам організувати вивчення дисципліни «Гідрогазодинаміка» завдяки інформації щодо змісту модулів та тем дисципліни, планів практичних занять, завдань для самостійного вивчення та розподілу балів за видами робіт, що виконуються студентами протягом вивчення дисципліни. Методичні рекомендації містять перелік питань для підготовки до підсумкового контролю та перелік основної та додаткової літератури.

**УДК 533(072)**

© Омельченко О.В., Перекрест В.В., 2019  
© Донецький національний університет  
економіки і торгівлі імені Михайла  
Туган-Барановського, 2019

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ГІДРОГАЗОДИНАМІКА».....</b>	<b>6</b>
<b>ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....</b>	<b>15</b>
Змістовий модуль 1. Основи статички та динаміки .....	16
Змістовий модуль 2. В'язка рідина. Прикордонний шар .....	29
<b>ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....</b>	<b>35</b>
Змістовий модуль 1. Основи статички та динаміки .....	36
Змістовий модуль 2. В'язка рідина. Прикордонний шар .....	53

## ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування у студентів професійних компетентностей щодо розрахунку гідродинамічних характеристик ізотермічних і неізотермічних явищ з однофазними і двофазними середовищами на підставі використання основних закономірностей руху рідини і газу.

Головним завданням навчальної дисципліни є освоєння теоретичних основ фізичної сутності явищ, що виникають в нерухомих і рухомих однорідних, двофазних і двокомпонентних рідких середовищах; формування знань, умінь і навичок розрахунку параметрів потоку використання теоретичних методів для визначення гідродинамічних характеристик робочих тіл і теплоносіїв при вирішенні практичних завдань енергетики.

Предмет: принципів вивчення і методи застосування законів рівноваги і руху рідин і газів.

**ЧАСТИНА 1.**  
**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

## 1. Опис дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни
Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна	<b>Обов'язкова для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»</b>
Семестр (осінній / весняний)	<b>Осінній</b>
Кількість кредитів	<b>4</b>
Загальна кількість годин	<b>120</b>
Кількість модулів	<b>1</b>
Лекції, годин	<b>26</b>
Практичні / семінарські, годин	<b>26</b>
Лабораторні, годин	-
Самостійна робота, годин	<b>68</b>
Тижневих годин для денної форми навчання:	
аудиторних	<b>4</b>
самостійної роботи студента	<b>5,2</b>
Вид контролю	<b>екзамен</b>

## 2. Програма дисципліни

**Ціль** – формування у студентів професійних компетентностей щодо розрахунку гідродинамічних характеристик ізотермічних і неізотермічних явищ з однофазними і двофазними середовищами на підставі використання основних закономірностей руху рідини і газу.

**Завдання:** освоєння теоретичних основ фізичної сутності явищ, що виникають в нерухомих і рухомих однорідних, двофазних і двокомпонентних рідких середовищах; формування знань, умінь і навичок розрахунку параметрів потоку використання теоретичних методів для визначення гідродинамічних характеристик робочих тіл і теплоносіїв при вирішенні практичних завдань енергетики.

**Предмет:** закони і принципи гідрогазодинаміки.

**Зміст дисципліни розкривається в темах:**

1. Вступ. Основні фізичні властивості рідин і газів.
2. Гідростатика.
3. Кінематика
4. Основи динаміки.
5. Рівняння Д. Бернуллі.
6. Основні рівняння гідрогазодинаміки.
7. Рівняння Нав'є-Стокса.
8. Гідравлічні опіри
9. Витікання рідини і газу через отвори і насадки.
10. Гідравлічний удар.
11. Основні поняття прикордонного шару.
12. Надзвукова швидкість.
13. Нагнітачі рідини та газів.

### 3. Структура дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин (денна форма навчання)				
	усього	у тому числі			
		лекц.	пр./сем.	лаб.	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Змістовий модуль 1. Основи статички та динаміки</b>					
<b>Тема 1.</b> Вступ. Основні фізичні властивості рідин і газів	7	2	2	-	3
<b>Тема 2.</b> Гідростатика.	9	2	2	-	5
<b>Тема 3.</b> Кінематика	9	2	2	-	5
<b>Тема 4.</b> Основи динаміки	9	2	2	-	5
<b>Тема 5.</b> Рівняння Д. Бернуллі	9	2	2	-	5
<b>Тема 6.</b> Основні рівняння гідрогазо-динаміки	9	2	2	-	5
<b>Тема 7.</b> Рівняння Нав'є-Стокса	9	2	2	-	5
<b>Тема 8.</b> Гідрравлічні опіри	9	2	2	-	5
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>70</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>38</b>
<b>Змістовий модуль 2. В'язка рідина. Прикордонний шар.</b>					
<b>Тема 9.</b> Одномірний рух рідини.	10	2	2	-	6
<b>Тема 10.</b> Витікання рідини і газу через отвори і насадки.	10	2	2	-	6
<b>Тема 11.</b> Одномірний несталий рух.	10	2	2	-	6
<b>Тема 12.</b> Види двофазних потоків і їх класифікація.	10	2	2	-	6
<b>Тема 13.</b> Основні поняття прикордонного шару.	10	2	2	-	6
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>30</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>-</b>	<b>68</b>

### 4. Теми семінарських/практичних/лабораторних занять

№ з/п	Вид та тема практичного заняття	Кількість годин
1	<b>Практична робота 1.</b> Термодинамічні властивості газів. Статика газів	<b>2</b>
2	<b>Практична робота 2.</b> Визначення гідростатичного тиску в точці рідини	<b>2</b>
3	<b>Практична робота 3.</b> Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епюр гідростатичного тиску.	<b>2</b>
4	<b>Практична робота 4.</b> Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску».	<b>2</b>
5	<b>Практична робота 5.</b> Розв'язання рівняння Д. Бернуллі	<b>2</b>
6	<b>Практична робота 6.</b> Втрати натиску	<b>2</b>
7	<b>Практична робота 7.</b> Розрахунок коротких трубопроводів	<b>2</b>
8	<b>Практична робота 8.</b> Гідрравлічні розрахунки довгих трубопроводів.	<b>2</b>
9	<b>Практична робота 9.</b> Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел.	<b>2</b>
10	<b>Практична робота 10.</b> . Гідрравлічний удар	<b>2</b>
11	<b>Практична робота 11.</b> Розрахунок параметрів прикордонного шару	<b>2</b>



12	<b>Практична робота 12.</b> Надзвукова швидкість.	<b>2</b>
13	<b>Практична робота 13.</b> Розрахунок характеристик лопатевих нагнітачів.	<b>2</b>
<b>Всього</b>		<b>26</b>

## 5. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання згідно варіанту.

## 6. Обсяги, зміст та засоби діагностики самостійної роботи

Вид та тема практичних занять	Кількість годин самостійної роботи	Зміст самостійної роботи	Засоби діагностики
<b>Змістовий модуль 1. Основи статички та динаміки</b>			
1. Термодинамічні властивості газів. Статика газів	3	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Термодинамічні властивості газів. Статика газів».	Опитування, перевірка задач
2. Визначення гідростатичного тиску в точці рідини	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Визначення гідростатичного тиску в точці рідини».	Опитування, перевірка задач
3. Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епюр гідростатичного тиску.	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епюр гідростатичного тиску»	Опитування, перевірка задач
4. Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску».	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску»».	Опитування, перевірка задач
5. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу,	Опитування, перевірка задач

		необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розв'язання рівняння Д. Бернуллі».	
6. Втрати натиску	5	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Втрати натиску».	Опитування, перевірка задач
7. Розрахунок коротких трубопроводів	5	1 Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2.Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок коротких трубопроводів».	Опитування, перевірка задач
8. Гідравлічні розрахунки довгих трубопроводів.	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2.Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Гідравлічні розрахунки довгих трубопроводів ».	Опитування, перевірка задач
<b>Разом змістовий модуль 1</b>	<b>38</b>		
<b>Змістовий модуль 2. В'язка рідина. Прикордонний шар.</b>			
9. Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел.	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «. Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел.».	Опитування, перевірка задач
10. Гідравлічний удар	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Гідравлічний удар».	Опитування, перевірка задач
11. Розрахунок параметрів пограничного шару	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури.	Опитування, перевірка задач

		3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок параметрів пограничного шару».	
12. Надзвукова швидкість.	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Надзвукова швидкість.»	Опитування, перевірка задач
13. Розрахунок характеристик лопатевих нагнітачів.	6	1. Опрацювання конспекту лекцій та дотичного до нього матеріалу, необхідного для розв'язування задач. 2. Опрацювання рекомендованої літератури. 3. Підготовка до виконання практичного завдання на тему: «Розрахунок характеристик лопатевих нагнітачів»	Опитування, перевірка задач
<b>Разом змістовий модуль 2</b>	<b>30</b>		
<b>Разом</b>	<b>68</b>		

**7. Матриця зв'язку між дисципліною/ змістовим модулем, програмними результатами навчання та компетентностями**

Результати навчання	Компетентності										
	Інтегральна	Загальні			Спеціальні						
		ІК-1	ЗК 4	ЗК14	ЗК 15	ФК 1	ФК 2	ФК 4	ФК 5	ФК 6	ФК 7
1. Знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.	+	+									
2. Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.	+				+						
3. Застосовувати інженерні	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+

технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень										
4. Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань.			+			+	+	+	+	+

## 8. Методи викладання

Лекції, практичні заняття, самостійна робота (розв'язування задач).

## 9. Методи оцінювання

Екзамен.

## 10. Розподіл балів, які отримують студенти

Відповідно до системи оцінювання знань студентів ДонНУЕТ, рівень сформованості компетентностей студента оцінюються у випадку проведення екзамену: впродовж семестру (50 балів) та при проведенні підсумкового контролю - екзамену (50 балів).

### Оцінювання студентів протягом семестру

№ теми практичного заняття	Вид роботи/бали					
	Тестові завдання, письмові опитування	Ситуаційні завдання, задачі	Обговорення теоретичних питань теми	Індивідуальне завдання	ПМК	Сума балів
<b>Змістовий модуль 1</b>						
Тема 1			1	1		2
Тема 2			1	2		3
Тема 3			1	2		3
Тема 4			1	2		3
Тема 5			1	2		3
Тема 6			1	2		3
Тема 7			1	2		3
Тема 8			1	2	5	8
Разом змістовий модуль 1			8	15	5	<b>28</b>

<b>Змістовий модуль 2</b>						
Тема 9.			1	2		3
Тема 10.			1	2		3
Тема 11.			1	2		3
Тема 12.			1	3		4
Тема 13.			1	3	5	9
Разом змістовий модуль 2			5	12	5	<b>22</b>
Разом			13		35	<b>50</b>

### **Загальне оцінювання результатів вивчення дисципліни**

Для виставлення підсумкової оцінки визначається сума балів, отриманих за результатами екзамену та за результатами складання змістових модулів. Оцінювання здійснюється за допомогою шкали оцінювання загальних результатів вивчення дисципліни (модулю).

<b>Оцінка</b>		
<b>100-бальна шкала</b>	<b>Шкала ECTS</b>	<b>Національна шкала</b>
90-100	A	5, «відмінно»
80-89	B	4, «добре»
75-79	C	
70-74	D	3, «задовільно»
60-69	E	
35-59	FX	2, «незадовільно»
0-34	F	

### **11. Методичне забезпечення**

1. Електронний конспект лекцій, методичні вказівки з вивчення дисципліни, індивідуальні завдання, навчальна та наукова література

### **12. Рекомендована література**

#### **Основна**

1. Бойко А.В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х.: НТУ"ХП", 2014. 444 с.
2. Яловий М.І., Цяпко М.Ф. Збірник задач з гідрогазодинаміки (Навчальний посібник). –К.: ІДСМО, 2015. 114с.
3. Соколов В.І., Кроль О.С., Єпіфанова О.В. Гідрравліка. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2017. 160 с.
3. Цяпко М.Ф., Мамаєв Л.М. Гідрогазодинаміка. -К.: ІДСМО, 2015. 211с.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. -М.: Наука, 1969. 824с.
5. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. -М.: Машиностроение, 1983. - 320с.

6. Вильнер Л.М., Коваль Я.Т., Некрасов Б.В. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. -Минск: Высшая школа, 1975. 416с.

7. Механика жидкости и газа. / Под ред. А.Н. Минаева. –Металлургия, 1987. 304 с.

**Допоміжна**

1. Гиневский А.С. Теория турбулентных струй и следов. -М.:

2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. -М.: Наука, 1970. 904с.

3. Дейч М.Е. , Заранкин А.Е. Гидрогазодинамика. -М.: Энергоатомиздат, 1984. 384с.

**ЧАСТИНА 2.  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО  
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

# ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ СТАТИКИ ТА ДИНАМІКИ

## Тема 1. Термодинамічні властивості газів. Статика газів.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Поняття рідини та її властивості.
2. Основні фізичні властивості рідини і газу.
3. Поняття про ідеальну і реальну рідину.
4. Сили, які діють в рідині.
5. Рівняння стану ідеального газу, характеристика процесів.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** Атмосферне повітря при температурі  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  і тискові  $p_1 = 150\text{кПа}$  займає об'єм  $10\text{м}^3$ . Визначити величину зміни об'єму повітря, якщо тиск повітря збільшився до  $p_2 = 600\text{кПа}$ , а температура до  $t_2 = 90^\circ\text{C}$ .

#### **Розв'язання**

Використаємо рівняння стану ідеального газу  $pW = RT$ .

Оскільки теплообмін відсутній, то  $\frac{pW}{T} = \text{const}$ , тобто  $\frac{p_1 W_1}{T_1} = \frac{p_2 W_2}{T_2}$ , звідки

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$W_2 = 10 \cdot \frac{150 \cdot 10^3}{600 \cdot 10^3} \cdot \frac{(273+90)}{(273+10)} = 3,21\text{м}^3$$

Отже величина зміни об'єму повітря становить

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\Delta W = 10 - 3,21 = 6,89\text{ м}^3$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. № 3, 8	Вар. № 4, 9	Вар. № 5, 10	Вар. № 6, 11
Температура атмосферного повітря $t_1$ , $^\circ\text{C}$	5	7	9	13	15	17
Атмосферний тиск $p_1$ , кПа	120	130	140	135	100	170
Об'єм, $\text{м}^3$	5	15	12	7	17	10
Температура атмосферного повітря $t_2$ , $^\circ\text{C}$	80	85	80	90	95	85
Атмосферний тиск $p_2$ , кПа	570	580	620	610	585	575



## Тема 2. Визначення гідростатичного тиску в точці рідини

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Поняття про гідростатичний тиск.
2. Властивості гідростатичного тиску.
3. Основні рівняння спокою рідини та їх зміст.
4. Види гідростатичного тиску.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** Визначити об'єм води ( $\gamma=9,8 \text{ кН/м}^3$ ) в циліндричному резервуарі діаметром  $d=2,5\text{м}$ , якщо манометр підключений на висоті  $z=1,5\text{м}$  від дна показує тиск  $p_m=55 \text{ кПа}$ .

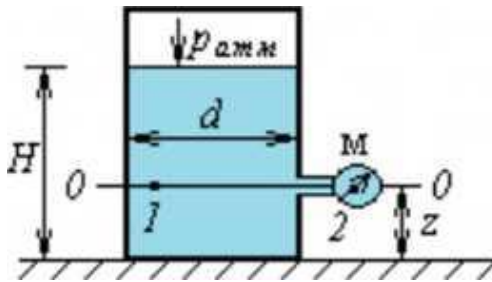


Рисунок 1. До прикладу 2

### Розв'язання

Об'єм води циліндричного резервуару  $W=H\omega$ , де  $H$  – рівень води в резервуарі;

$\omega$  - площа поперечного перерізу

$$\text{резервуару } \omega = \frac{\pi d^2}{4}, \omega = \frac{3,14 \cdot 2,5^2}{4} = 4,90 \text{ м}^2$$

Проведено горизонтальну площину порівняння 0-0 через центр манометра, на якій вибрані дві точки т.1 і т.2 для яких записано рівняння діючих тисків

$$p_{m1} = \gamma H - \gamma z$$

$$p_{m1} = p_m$$

Так, як площина порівняння є і площиною рівного тиску, то  $p_{m1} = p_{m2}$ , тобто  $\gamma H - \gamma z = p_m$ , звідки  $H = \frac{p_m + \gamma z}{\gamma}$ ,

$$H = \frac{55 \cdot 1000 + 9,8 \cdot 1000 \cdot 1,5}{9,8 \cdot 1000} = 7,11 \text{ м}$$

Отже об'єм води циліндричного резервуару становить

$$W = 7,11 \cdot 4,90 = 34,84 \text{ м}^3$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Діаметр циліндричного резервуара $d$ , м	1,7	1,9	2,3	2,1	2,7	2,5
Висота підключення манометра $z$ , м	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Тиск $p_m$ , кПа	47	49	51	59	57	61

### Тема 3. Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епіюр гідростатичного тиску.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Сила тиску на плоску поверхню.
2. Центр тиску плоскої поверхні.
3. Епіюра гідростатичного тиску.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

#### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** Визначити величину і точку прикладання сили тиску води на вертикальний щит шириною  $b=2,0$  л, якщо глибина води перед щитом  $H=2,5$  л.

#### Розв'язання

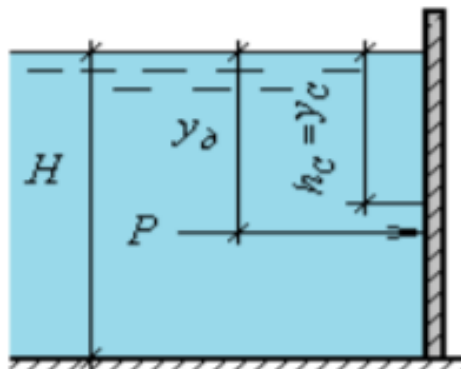


Рисунок 2. До прикладу 3

Сила тиску на прямокутний щит визначається за залежністю  $P = \rho g h_c \omega$ , де  $h_c$  – глибина занурення центра ваги змоченої частини плоскої поверхні

$$h_c = y_c = \frac{H}{2}$$

$$h_c = y_c = \frac{H}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ м}$$

Оскільки щит (плоска поверхня) вертикальний, то  $h_c = y_c$

$y_c$  – координата центра ваги;

$\omega$  – площа змоченої частини плоскої поверхні

$$\omega = Hb$$

$$\omega = 2,5 \cdot 2,0 = 5,0 \text{ м}$$

Отже сила тиску на вертикальний щит становить

$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 5,0 = 61,31 \text{ кН}$$

Геометрична глибина прикладення сили тиску визначається за формулою  $y_d = y_c + \frac{I_o}{y_c \omega}$ , де

$I_o$  – момент інерції, який для прямокутної форми щита становить

$$I_o = \frac{bH^3}{12}, \quad I_o = \frac{2,0 \cdot 2,5^3}{12} = 2,60 \text{ м}$$

$$y_d = 1,25 + \frac{2,60}{1,25 \cdot 5,0} = 1,67 \text{ м}$$

**Задача.** Визначте силу тиску води на квадратний затвор (рис. 3), який встановлений у вертикальній стінці, якщо відома відстань між центром ваги стінки і центом тиску  $e$ . а сторона квадрата -  $a$ . Вихідні дані до задачі наведені у таблиці .

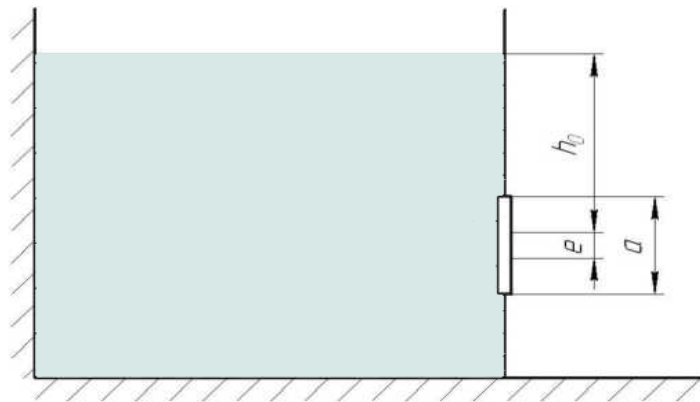


Рисунок 3.

Таблиця 3. Вихідні дані для задачі

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e$ , см	6	7	8	9	10	12	14	5	11	15
$a$ , м	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	0,9

## Тема 4. . Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску».

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Сила піску на криволінійну (циліндричну) поверхню.
2. Побудова «тіла тиску».
3. Плавання тіл (закон Архімеда).

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

#### Приклад.

Визначити силу тиску на напівциліндричний затвор радіусом  $R = 1,4\text{ м}$  і шириною  $b = 3\text{ м}$ , що підтримує рівень води  $H = R$ . Побудувати «тіло тиску».

#### Розв'язання

Сила тиску на напівциліндричний затвор (криволінійну поверхню) визначається за формулою (рис. 3)

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

де  $P_x$  – горизонтальна складова сили тиску  $P_x = \rho g h_{cz} \omega_z$

$h_{cz}$  – глибина занурення центра ваги вертикальної проекції криволінійної поверхні

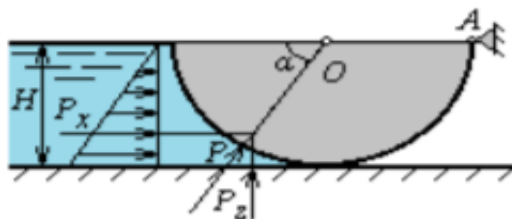


Рис. 4. До прикладу 4

$$h_{cz} = \frac{H}{2} = \frac{1,4}{2} = 0,7 \text{ м};$$

$\omega_z$  – площа вертикальної проекції криволінійної поверхні

$$\omega_z = Hb = 1,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ м}^2$$

$$P_x = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,7 \cdot 4,2 = 28,84 \text{ кН}$$

Вертикальна складова сили тиску визначається за  $P_z = \rho g W_r$

де,  $W_r$  – об'єм «тіла тиску».

Об'єм «тіла тиску» - це об'єм обмежений криволінійною поверхнею, вертикальними площинами проведеними з кінців криволінійної поверхні та п'єзометричною площиною.

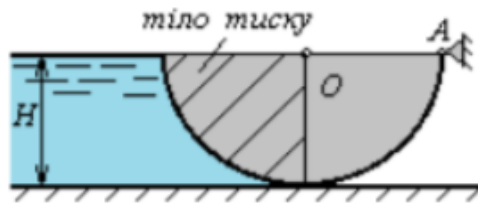


Рисунок 5. Графічне зображення «тіла тиску»

$$W_T = \frac{\pi R^2}{4} \cdot b = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 3,0 = 4,62 \text{ м}^3$$

$$P_z = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,62 = 45,32 \text{ кН}$$

Таким чином сила тиску на напівциліндричний затвор становить

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \sqrt{28,84^2 + 45,32^2} = 53,71 \text{ кН}$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 3

Таблиця 3

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Радіус напівциліндричного затвору $R, \text{ м}$	1,1	1,7	1,6	1,5	1,2	1,3
Ширина напівциліндричного затвору $b, \text{ м}$	2,4	2,6	2,8	3,2	3,4	3,6

## Тема 5. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Види руху рідин і газів.
2. Параметри і гідравлічні елементи живого перерізу потоку.
3. Рівняння нерозривності для потоку рідини.
4. Рівняння Бернуллі для ідеальної рідини та його тлумачення.
5. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини та його тлумачення.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.**

Вздовж трубопроводу, який має звуження, рухається потік води витратою  $Q = 9 \text{ л/с}$ , різниця показів п'езометрів  $h = 1,0 \text{ м}$ , діаметр звуженої частини трубопроводу  $d_2 = 5 \text{ см}$ . Визначити діаметр трубопроводу  $d_1$ . Втратами напору знехтувати.

**Розв'язання**

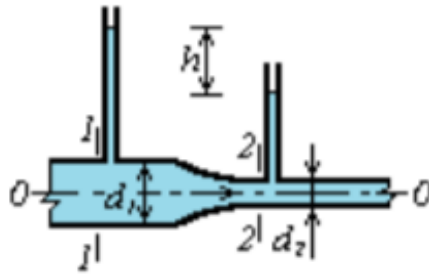


Рисунок 6. До прикладу 5

Використаємо рівняння Д. Бернуллі для перерізів 1-1 та 2-2 відносно площини порівняння 0-0

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$$

$$z_1 = 0 ; h = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} ; \quad V_1 ; \quad h_{w_{1-2}} = 0$$

$$z_2 = 0 ; \quad V_2 ;$$

$$0 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = 0 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + 0, \quad h + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

Розрахуємо середню швидкість руху потоку у 2 перерізі

$$V_2 = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,009}{3,14 \cdot 0,05^2} = 4,59 \text{ м/с}$$

З рівняння Д. Бернуллі виражаємо середню швидкість руху потоку у перерізі 1

$$V_1 = \sqrt{V_2^2 - 2gh} = \sqrt{4,59^2 - 2 \cdot 9,81 \cdot 1,0} = 1,20 \text{ м/с}$$

З умови нерозривності потоку  $\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2$  слідує, що  $V_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi d_2^2}{4}$ , звідки

$$d_1 = d_2 \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{4,59}{1,20}} = 0,098 \text{ м} \approx 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см}$$

Задача. З резервуару по трубі змінного перерізу рідина витікає в атмосферу. Вважаючи рідину ідеальною, визначити швидкість витікання, витрату рідини і тиск на кожній ділянці трубопроводу (рис. 5.1). Побудувати п'єзометричну і напірні лінії, якщо рівень рідини в резервуарі  $H$ , м ; діаметри труб  $d_1, d_2, d_3$ , мм; густина рідини  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>.

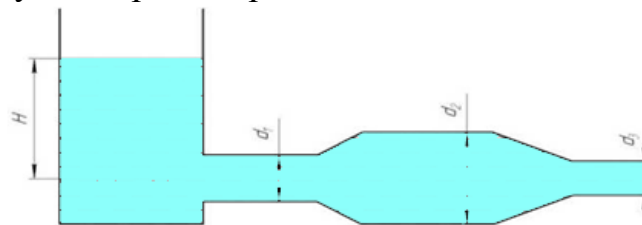


Рисунок 7

Вихідні дані до задачі наведені у таблиці.

Варіант	H, м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм
1	3,0	900	32	64	40
2	2,8	950	25	50	32
3	2,6	850	16	32	20
4	2.4	890	40	80	50
5	2,2	1000	50	100	63
6	2,0	700	63	125	70
7	1,8	750	15	30	20
8	1,6	910	20	40	32
9	1,4	856	40	80	50
10	1,2	998	10	20	16
11	1,0	835	12	24	16
12	0,8	840	20	40	32
13	0,6	825	16	32	20
14	0,5	915	10	20	15

### Тема 6. Втрати натиску.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

- 1 Коефіцієнт гідравлічного тертя.
2. Турбулентний плин. .
3. Ламінарний плин.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

#### Приклад розв'язування завдання.

Визначити втрати тиску при русі масла в радіаторі (рис. 8.1), якщо витрата масла  $Q = 2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с. Діаметр колектора радіатора  $d_0 = 0,03$  м, діаметр трубок  $d_{тр} = 0,01$  м, довжина їх  $l_{тр} = 1$  м. Щільність масла  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>, кінематична в'язкість  $\nu = 6,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с.

#### Рішення

Швидкість течії масла в колекторах

$$v = \frac{4Q}{\pi d_0^2} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,03^2} = 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

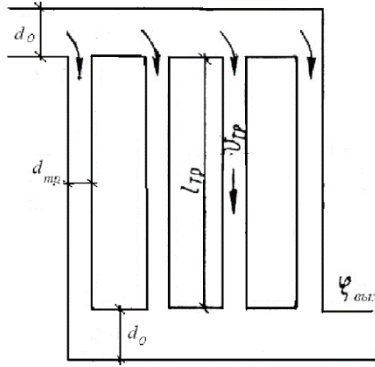


Рисунок 8. До прикладу 6

Знайдемо втрати тиску в трубках по довжині і втрати на місцеві опори. Всі чотири трубки знаходяться в однакових умовах; отже, витрата в кожній з них

$$Q_{\text{тр}} = \frac{1}{4} Q = 5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Швидкість течії масла в трубці

$$v_{\text{тр}} = \frac{4 Q}{\pi d_{\text{тр}}^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,01^2} = 0,63 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса

$$Re_{\text{тр}} = \frac{v_{\text{тр}} d_{\text{тр}}}{\nu} = \frac{0,63 \cdot 0,01}{6,5 \cdot 10^{-5}} = 97.$$

Таким чином, протягом в трубках ламінарне. Втрати тиску по довжині знаходимо за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{л}} &= \frac{32 \rho \nu l_{\text{тр}} v_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}^2} = \frac{32 \cdot 900 \cdot 6,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 0,63}{0,01^2} = \\ &= 1,15 \cdot 10^4 \text{Па} = 11,5 \text{кПа}. \end{aligned}$$

Втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою

$$\Delta p_{\text{м}} = \zeta \rho v^2 / 2$$

$$\Delta p_{\text{м}} = \Delta p_{\text{м.вх}} + \Delta p_{\text{м.вих}} = \zeta_{\text{вх}} \frac{\rho v_{\text{тр}}^2}{2} + \zeta_{\text{вих}} \frac{\rho v_{\text{тр}}^2}{2}.$$

коефіцієнти місцевих опорів обчислюємо за формулою:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + \zeta_{\text{кв.}}$$

По довіднику знаходимо для входу в трубки:  $\zeta_{\text{вх.кв}} = 0,5$  и  $A = 30$ ; для виходу з трубок  $\zeta_{\text{вих.кв}} = 1$  и  $A = 30$ . Підставляючи знайдені значення, отримуємо:

$$\zeta_{\text{вих}} = \frac{30}{97} + 1 = 1,3; \quad \zeta_{\text{вх}} = \frac{30}{97} + 0,5 = 0,8.$$

Тоді



$$\Delta p_m = \frac{1,3 \cdot 900 \cdot 0,28^2}{2} + \frac{0,8 \cdot 900 \cdot 0,28^2}{2} = 0,07 \text{ кПа.}$$

Загальні втрати тиску при русі масла в радіаторі

$$\Delta p_{\text{втр}} = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_m = 11,5 + 0,07 = 11,57 \text{ кПа.}$$

**Задача .** Визначте повні втрати тиску у напірній гідролінії, якщо витрата робочої рідини  $Q$ ; л/хв, Діаметр гідролінії  $D$ , мм довжина гідро лінії  $l$ , м . Робоча рідина має густину  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, кінематична в'язкість  $\nu$ , сСт. Напірна гідролінія має 2 повороти ( $\epsilon_{\text{пов}}!$  0,39) і гідророзподільник, втрати тиску в якому  $\Delta P = 0,18$  МПа. Еквівалентна рівномірно-зерниста шорсткість  $k_e$ , мм. Вихідні дані до задачі наведені у таблиці 5.

Таблиця 5 - Вихідні дані для задачі

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$Q$ , л/хв	60	90	120	140	150	160	180	200	220	240	260	300	320
$D$ , мм	10	16	20	25	25	32	32	40	40	50	50	63	63
$l$ , м	5,0	5,2	6,0	6,4	7,0	7,5	8,0	8,2	8,4	8,6	9,0	9,2	9,5
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	929	900	890	880	865	858	850	848	830	820	825	845	910
$\nu$ , сСт	1,2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
$k_e$ , мм	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,5

## Тема 7. Розрахунок коротких трубопроводів.

1. *Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:*

1. Поняття про короткі трубопроводи.
2. Основні розрахункові залежності коротких трубопроводів.
3. Типи задач при розрахунках коротких трубопроводів.

2. *Опитування.*

3. *Практичні завдання.*

### Приклад розв'язування завдання.

#### Приклад.

Визначити висоту розміщення осі пожежного насоса над рівнем води в річці, якщо подача насоса  $Q = 20$  л/с, довжина всмоктувальної лінії  $l = 12$  м,

діаметр  $d = 200$  мм і допустима вакуумметрична висота всмоктування  $h_{\text{вак}} = 6,5$  м. вод. ст. Побудувати п'єзометричну і напірну лінії. Труби ненові сталеві.

### Розв'язання

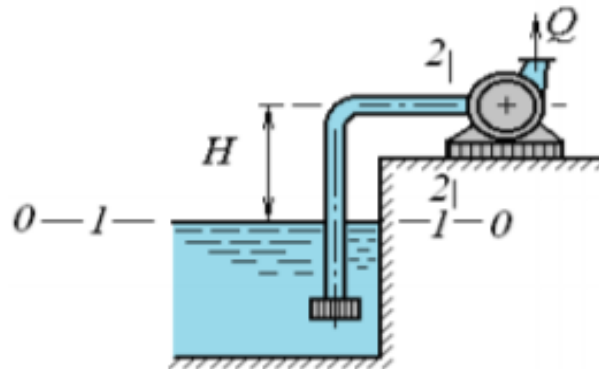


Рисунок 9. До прикладу 7

Дана система з коротким трубопроводом. Запишемо рівняння Д. Бернуллі для потоку реальної рідини для перерізів 1-1 і 2-2 відносно площини порівняння 0-0.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w,$$

$$\text{де: } z_1 = 0; \quad p_1 = p_{\text{атм}}; \quad V_1 = 0;$$

$$z_2 = 0; \quad p_2 = p_{\text{абс}}; \quad V_2 = V.$$

$$0 + \frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} + 0 = H + \frac{p_{\text{абс}}}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w,$$

$$\frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} = H + \frac{p_{\text{абс}}}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w,$$

$$\frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} - \frac{p_{\text{абс}}}{\rho g} = H + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w$$

Так, як  $p_{\text{атм}} - p_{\text{абс}} = p_{\text{атм}} - (p_{\text{атм}} + p_{\text{м}}) = p_{\text{атм}} - p_{\text{атм}} - p_{\text{м}} = -p_{\text{м}} = p_{\text{вак}}$ , то  $\frac{p_{\text{вак}}}{\rho g} = h_{\text{вак}}$

$$h_{\text{вак}} = H + \frac{\alpha V^2}{2g} + h_w, \text{ звідки } H = h_{\text{вак}} - \frac{\alpha V^2}{2g} - h_w$$

де,  $h_w$  – втрати напору при русі води від перерізу 1-1 до перерізу 2-2

$$h_w = \zeta_{\text{з.к.}} \cdot \frac{V^2}{2g} + \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} + \zeta_{90^\circ} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

$$h_w = \left( \zeta_{\text{з.к.}} + \lambda \cdot \frac{l}{d} + \zeta_{90^\circ} \right) \cdot \frac{V^2}{2g},$$

$$H = h_{\text{вак}} - \frac{V^2}{2g} \left( \alpha + \zeta_{\text{з.к.}} + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{90^\circ} \right).$$

Визначимо середню швидкість

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,2^2} = 0,64 \text{ м/с}$$

Місцеві коефіцієнти опорів становлять:

$$\zeta_{\text{з.к.}} = 5,2, \text{ стор. 45, табл. 4.16, [6]; } \zeta_{90^\circ} = 1,19, \text{ стор. 46, [6];}$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначимо за залежність А.Д. Альтшуля

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

$\Delta_e = 0,1$  мм – еквівалентна шорсткість згідно табл. 4.1, стор. 36, [6];

$Re = \frac{vd}{\nu}$  – число Рейнольдса,

де,  $\nu = 115 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$  – коефіцієнт кінематичної вязкості, згідно табл.1.9, стор. 11, [6],

тоді

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_e}{d} + \frac{68\nu}{vd} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{200} + \frac{68 \cdot 115 \cdot 10^{-8}}{0,64 \cdot 0,2} \right)^{0,25} = 0,0201$$

Отже напір, який повинен створити відцентрований насос над рівнем води в річці становить

$$H = 6,5 - \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} \left( 1 + 5,2 + 0,0201 \cdot \frac{12}{0,2} + 1,19 \right) = 6,32 \text{ м}$$

Для побудови пезометричної і напірної лінії необхідно розраховувати швидкісний напір та втрати напору:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,021 \text{ м};$$

$$h_{з.к.} = \zeta_{з.к.} \cdot \frac{v^2}{2g} = 5,2 \cdot \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,108 \text{ м};$$

$$h_{90^\circ} = \zeta_{90^\circ} \cdot \frac{v^2}{2g} = 1,19 \cdot \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,025 \text{ м};$$

$$h_d = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0,0201 \cdot \frac{12}{0,2} \cdot \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,025 \text{ м}.$$

$$H = h_{\text{вак}} - \frac{v^2}{2g} \left( \alpha + \zeta_{з.к.} + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{90^\circ} \right).$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 6

Таблиця 6

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Подача насоса $Q$ , л/с	15	17	19	21	22	16
Довжина всмоктувальної лінії $l$ , м	8	15	10	9	13	11
Діаметр всмоктувальної лінії $d$ , мм	190	160	220	210	170	180
Допустима вакуумметрична висота всмоктування $h_{\text{вак}}$ , м. ВОД. СТ.	5,8	7,2	6,1	6,9	6,3	6,7

## Тема 8. Гідравлічні розрахунки довгих трубопроводів.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

- 1.Поняття про довгі трубопроводи.
- 2.Втрати напору в довгих трубопроводах.
- 3.Характери етика послідовного і паралельного з'єднання довгих трубопроводів. Розрахунок довгих трубопроводів при рівномірній роздачі води вздовж шляху.

## 2. Опитування.

## 3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

Для послідовного сполучення трубопроводів визначити діаметри труб, необхідні напори у вузлах  $A$ ;  $B$ , які забезпечать подачу води  $Q_B = 35$  л/с;  $Q_{ш} = 15$  л/с;  $Q_C = 20$  л/с; за умови, що у вузлі буде напір  $H_C = 15$  м. Довжини ділянок  $l_{AB} = 280$  м;  $l_{BC} = 250$  м та відмітки у вузлах  $\downarrow A = 88$  м;  $\downarrow B = 87$  м;  $\downarrow C = 85$  м. Труби сталеві ненові. Побудувати п'єзометричну лінію.

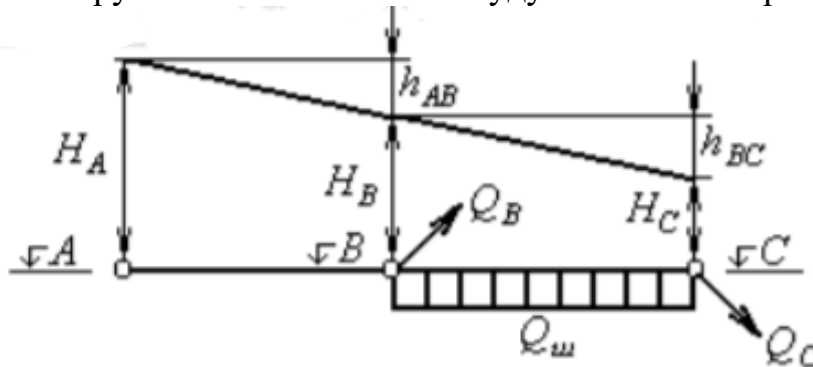


Рисунок 10. До прикладу 8

Визначаємо розрахункову витрату на ділянках трубопроводу за формулою

$$Q_p = Q_m + 0,55Q_{ш}$$

$$Q_{AB} = Q_C + 0,55Q_{ш} = 20 + 0,55 \cdot 15 = 28,25 \text{ л/с}$$

$$Q_{BC} = Q_C + Q_{ш} + Q_B = 20 + 15 + 35 = 70,0 \text{ л/с}$$

$$d_{BC} = 175 \text{ мм}; \quad d_{AB} = 300 \text{ мм}$$

Визначимо середню швидкість потоку на ділянках

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

$$V_{AB} = \frac{4 \cdot 28,25 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,175^2} = 1,18 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$V_{BC} = \frac{4 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,3^2} = 0,99 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

За табл. 6.2, стор. 62, [5] визначаємо величини питомих опорів ділянок трубопроводу

$$A_{BC} = 20,8 \frac{\text{с}^2}{\text{м}^6};$$

$$A_{AB} = 0,87 \frac{\text{с}^2}{\text{м}^6};$$

Витрати напору на ділянках визначаємо за залежністю

$$H = A \cdot l \cdot Q_p^2$$

$$h_{BC} = 20,8 \cdot 250 \cdot (28,25 \cdot 10^{-3})^2 = 4,14 \text{ м};$$

$$h_{AB} = 0,87 \cdot 280 \cdot (70 \cdot 10^{-3})^2 = 1,19 \text{ м}.$$

Для побудови п'єзометричної лінії визначимо величини напорів у відповідних вузлах

$$H_C = 15 \text{ м}$$

$$H_B = H_C + h_{BC} = 15,0 + 4,14 = 19,14 \text{ м}$$

$$H_A = H_B + h_{AB} = 19,14 + 1,19 = 20,33 \text{ м}$$

Визначимо п'єзометричні відмітки у вузлах

$$\downarrow C' = \downarrow C + H_C = 85 + 15 = 100,0 \text{ м};$$

$$\downarrow B' = \downarrow B + H_B = 100 + 19,14 = 119,14 \text{ м};$$

$$\downarrow A' = \downarrow A + H_A = 119,14 + 20,33 = 139,47 \text{ м}$$

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 В'ЯЗКА РІДИНА. ПРИКОРДОННИЙ ШАР

### Тема 9. Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Поняття про отвори і насадки.
2. Пропускна здатність отворів.
3. Повне і неповне, досконале і недосконале стиснення струмини.
4. Пропускна здатність насадки.

2. Опитування.

3. Практичні завдання

#### Приклад розв'язування завдання.

##### Приклад.

Вода через зовнішній циліндричний насадок діаметром  $d = 50$  м зливається з цистерни діаметром  $D = 3,0$  м при напорі  $H = 2,0$  л. Визначити час через який цистерна буде повністю спорожнена.

##### Розв'язання

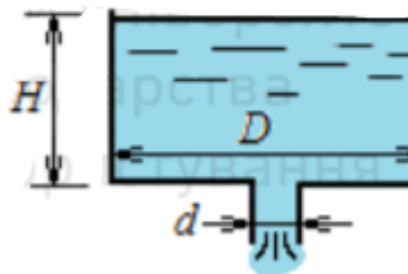


Рисунок 11. До прикладу 9

Час через який цистерна повністю спорожниться визначимо за залежністю  $t = \frac{2W}{Q} = \frac{2W}{\mu\omega\sqrt{2gH}}$

де  $W = \omega H = \frac{\pi D^2}{4} H$  – об'єм цистерни;

$\mu = 0,82$  – коефіцієнт витрати зовнішнього циліндричного насадка,

$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$  – площа живого перерізу насадка.

Отже  $t = \frac{8\pi D^2 H}{4\mu\pi d^2 \sqrt{2gH}} = \frac{2D^2 H}{\mu d^2 \sqrt{2gH}}$

$t = \frac{2 \cdot 3,0^2 \cdot 2,0}{0,82 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,0}} = 2803 \text{ с} = 47 \text{ хв}$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 7

Таблиця 7

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Діаметр циліндричних насадок $d$ , м	40	43	46	58	52	55
Діаметр цистерни $D$ , м	2,5	3,2	2,7	3,3	2,6	3,1
Напор $H$ , л	1,5	1,7	2,5	2,4	1,9	2,3

## Тема 10. Гідравлічний удар

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Ударна хвиля
2. Відбита хвиля
3. Формули Мішо та Жуковського.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** У сталевому трубопроводі довжиною  $l = 200$  м, діаметром  $d = 0,2$  м і товщиною стінок  $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$  м витрата води  $Q = 0,1$  м<sup>3</sup>/с. Розрахункова температура води  $20$  °С. Визначити найменший час закривання засувки  $\tau_{min}$ , щоб підвищення тиску в кінці трубопроводу, викликане гідравлічним ударом, було не більше  $\Delta p_{max} = 4 \cdot 10^5$  Па. Чому дорівнюватиме підвищення тиску в разі миттєвого закривання засувки в трубопроводі?

### Рішення

Якщо  $\tau > 2l/\alpha$ , збільшення тиску буде:

$$\Delta p = \frac{2\rho l v}{\tau}$$

З цієї формули визначаємо найменший час закривання засувки при заданому максимальному значенні підвищення тиску  $\Delta p_{max}$

$$\tau_{min} = \frac{2\rho l v}{\Delta p_{max}}$$

Швидкість руху води в трубопроводі до закривання засувки

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 0,2^2} = 3,18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Підставляючи чисельні значення, отримаємо:

$$\tau_{\text{мин}} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 3,18}{4 \cdot 10^5} = 3,18 \text{ с.}$$

При миттєвому закритті засувки підвищення тиску визначаємо за формулою:

$$\Delta p = \rho a v.$$

Швидкість поширення ударної хвилі в трубопроводі знаходимо за формулою

$$\alpha = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{E d}{E_{\text{ТВ}} \delta}}}.$$

Для води  $E = 19,6 \cdot 10^8$  Па для сталі  $E_{\text{ТВ}} = 21,2 \cdot 10^{10}$  Па

$$\alpha = \sqrt{\frac{19,6 \cdot 10^8}{998,2}} \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{19,6 \cdot 10^8 \cdot 0,2}{21,2 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}}} = 1190 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Отже  $\Delta p = 998,2 \cdot 3,18 \cdot 1190 = 38 \cdot 10^5$  Па = 3800 кПа,

тобто, майже в 10 разів перевищує допустиму.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 8

Таблиця 8

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Довжина сталевого трубопроводу l, м	180	220	210	195	190	215
Діаметр сталевого трубопроводу d, м	0,15	0,3	0,25	0,27	0,17	0,23
Витрата води Q, м <sup>3</sup> /с.	0,12	0,15	0,17	0,11	0,13	0,18
Розрахункова температура води 20°C	18	25	19	23	21	24

## Тема 11. Розрахунок параметрів прикордонного шару

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

**Прикордонного шар** і його утворення вздовж плоскої пластини.

Товщина ламінарного та турбулентного пограничного шару.

Відрив прикордонного шару. Точка відриву.

Турбулентність і турбулентний прикордонного шар.

Вільна турбулентність.

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

#### Приклад

Визначити товщину ламінарного пограничного шару на відділі  $l = 0,9$  м від початку прямокутної пластини довжиною  $l_n = 12$  м при швидкості повітряного потоку  $V = 25$  м/с ( $\rho = 1,27$  кг/м<sup>3</sup>;  $\nu = 0,15 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с)

#### Розв'язання

Товщину ламінарного пограничного шару визначимо за залежністю  $\delta = \frac{4,96l}{\sqrt{Re_l}}$

де,  $l$  – віддаль від початку пластини до точки де визначається товщина ламінарного пограничного шару;

$Re_l$  – число Рейнольда віднесене до відстані  $l$  від початку обтікання

$$Re_l = \frac{Vl}{\nu} = \frac{25 \cdot 0,9}{0,15 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \cdot 10^6, \text{ тоді}$$

$$\delta = \frac{4,96 \cdot 0,9}{\sqrt{1,5 \cdot 10^6}} = 0,00364 \text{ м} = 3,64 \text{ мм}$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 8

Таблиця 8

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Товщина ламінарного пограничного шару $l$ , м	0,7	0,75	0,95	1,1	0,8	0,85
Довжина пластини $l_n$ , м	11	10,5	11,5	12,5	12,8	13
Швидкість повітряного потоку $V$ , м/с	21	23	27	26	24	22

### Тема 12. Надзвукова швидкість.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Число Маха і кут Маха
2. Стрибки ущільнення в газовому потоці.
3. Критичне значення числа Маха.
4. Прямий, косий та лямбдаподібний стрибок

2. Опитування.

3. Практичні завдання.



### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** Знайти швидкість звуку, числа  $M$  і  $\lambda$  для струму повітря, витікаючого з балона зі швидкістю, рівній половині максимальної теоретичної швидкості витікання. Температура в балоні  $127^\circ\text{C}$ .

$$\frac{V^2}{2} + \frac{a^2}{k-1} = \frac{V_{max}^2}{2}. \text{ У нашому випадку } V = V_{max}/2.$$

Тоді

$$a = \frac{V_{max}}{2} \sqrt{\frac{3}{2}(k-1)}.$$

$$M = \frac{V}{a} = \frac{\left(\frac{V_{max}}{2}\right)}{\left(\frac{V_{max}}{2} \sqrt{\frac{3}{2}(k-1)}\right)} = \sqrt{\frac{2}{3(k-1)}} = 1,29.$$

$$\text{Згідно з } \frac{V_{max}}{a_*} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}}$$

$$\text{Тоді } \lambda = \frac{V}{a_*} = \frac{\frac{V_{max}}{2}}{\frac{V_{max}}{\sqrt{\frac{k+1}{k-1}}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} = 1,23$$

Згідно з

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0} = 898 \text{ м/с}$$

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0} \sqrt{\frac{3}{2}(k-1)} = \frac{1}{2} \sqrt{3RT_0} = 348 \text{ м/с}.$$

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 9

Таблиця 9

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Температура в балоні, $^\circ\text{C}$	110	120	140	135	130	125

### Тема 13. Розрахунок характеристик лопатевих нагнітачів.

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Повний напір.
2. Об'ємні втрати.
3. Коефіцієнт швидкохідності.
4. Допустима величина обточки робочого колеса

2. Опитування.

3. Практичні завдання.

### Приклад розв'язування завдання.

**Приклад.** Визначити орієнтовно споживану потужність насоса ЦНС 300-360, що працює на трубопровідну мережу з геометричною висотою водопідйому  $H_r = 330$  м і потужність електродвигуна на валу. Номінальні параметри насоса: подача  $Q_{\text{ном}} = 300$  м<sup>3</sup>/год, напір  $H_{\text{ном}} = 360$  м.

Орієнтовний напір насоса

$$H_n = \frac{H_r}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{330}{0,95} = 347 \text{ м,}$$

де  $\eta_{\text{тр}}$ - ККД трубопроводу, приймаємо  $\eta_{\text{тр}} = 0,95$   
орієнтовна подача

$$Q_n = \frac{H_{\text{ном}} - H_n}{k_x} + Q_{\text{ном}} = \frac{360 - 347}{0,4} + 300 = 332 \text{ м}^3/\text{год,}$$

Де  $k_x$  коефіцієнт крутизни напірної характеристики насоса, для секційних насосів серії ЦНС може бути прийнятий  $k_x=0,4$   
споживана потужність

$$N_n = \frac{\rho g H_n Q_n}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 347 \cdot 332}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0,7} = 448 \text{ кВт.}$$

потужність електродвигуна

$$N_{\text{ел}} = 1,1 \cdot N_n = 1,1 \cdot 448 = 492 \text{ кВт.}$$

Обираємо двигун ВАО 560S4 с частотою обертання 1480 хв<sup>-1</sup>, потужність 500 кВт.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 10

Таблиця 10

Найменування даних, одиниця виміру	Вар. № 1, 12	Вар. № 2, 7	Вар. №3, 8	Вар. №4, 9	Вар. №5, 10	Вар. №6, 11
Геометрична висота водопідйому $H_r$ , м	300	310	320	340	360	350
Номінальна подача насоса $Q_{\text{ном}}$ , м <sup>3</sup> /год, напір $H_{\text{ном}} = 360$ м.	280	290	330	320	310	315
Номінальний напір насоса $H_{\text{ном}}$ , м.	340	350	390	380	345	375

**ЧАСТИНА 3.  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ  
РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

# ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ СТАТИКИ ТА ДИНАМІКИ

**Тема 1.** Термодинамічні властивості газів. Статика газів.

**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Стисливість – властивість рідини змінювати свій об'єм під дією**

- A. тиску
- B. температури
- C. швидкості
- D. інерції

**Ідеальною рідиною називається така умовна рідина, яка не має**

- A. запаху
- B. кольору
- C. в'язкості
- D. інерції

**В'язкість - властивість рідини чинити опір**

- A. швидкості
- B. тиску
- C. деформації зсуву
- D. гравітації

**Динамічна в'язкість вимірюється**

- A. секундах
- B. н'ютон-метрах
- C. паскаль-секундах
- D. н'ютон-секундах

**Кінематична в'язкість вимірюється**

- A. Па/с
- B. м/кг
- C. м/кг
- D. м<sup>2</sup>/с,

**Від чого залежить в'язкість рідини**

- A. тиску
- B. вологості

- C. температури
- D. ваги

**Відносною питомою вагою рідини  $\delta$  називається відношення**

- A. питомої ваги до питомої ваги питної води
- B. питомої ваги до питомої ваги солоної води
- C. питомої ваги до питомої ваги кип'яченої води
- D. питомої ваги до питомої ваги прісної води

**Яка рідина стискається**

- A. рідкий гелій
- B. рідкий кисень
- C. рідкий водень
- D. ніяка

**Теплове розширення рідини характеризується**

- A. в'язкістю
- B. питомою вагою
- C. температурним коефіцієнтом
- D. тиском

**Густина однорідної рідини**

- A. відношення її маси до займаного об'єму
- B. відношення її температури до займаного об'єму
- C. відношення її маси до температури
- D. відношення її швидкості до займаного об'єму

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити температурний коефіцієнт об'ємного (температурного) розширення води  $\beta_2$ , якщо при збільшенні температури з 10 до 20 °C об'єм з 800 літрів збільшився на 6 літрів.

2. Для періодичного акумулювання приросту води, що одержується при зміні температури в системах центрального водяного опалення влаштовують розширювальні резервуари, які приєднуються в системі у верхній її точці і з'єднуються з атмосферою. Визначити найменший об'єм розширювального резервуару, щоб він повністю не випорожнювався. Допустиме коливання температури води під час перерв в топці  $\Delta t = 95 - 70 = 25$  °C. Об'єм води в системі 0,55 м<sup>3</sup>, коефіцієнт температурного розширення води  $\beta_t$  при  $t = 80$  °C становить 0,0006 1/°C.

3. В опалювальний котел надходить 50 м<sup>3</sup> води при температурі 70 °C. Який об'єм води буде виходити з котла, якщо нагрів відбувається до кінцевої температури 90 °C, а коефіцієнт температурного розширення  $\beta_t = 0,00064$  1/°C.

4. Зазор між двома пластинами, з яких одна нерухома, а друга пересувається зі швидкістю 2 см/с, заповнений рідиною. Напруження тертя на поверхні пластини  $\tau = 0,04$  Па. Визначити динамічну в'язкість рідини при висоті зазору в 1 мм.

5. На скільки зменшиться і чому буде дорівнювати кінцевий об'єм води з

початковою ємністю  $2 \text{ м}^3$ , при збільшенні тиску на  $\Delta P = 200 \text{ кгс/см}^2$ .

### Рекомендована література:

1. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід. - К. : ЦНЛ, 2006. – 616 с.
2. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов С.С. и др. «Гідравліка, гидромашини и гидро-приводы». - М., Машиностроение, 1970.
3. Мандрус В.І., Лещій Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. – Львів: Світ, 1995.

### Тема 2. . Визначення гідростатичного тиску в точці рідини

**Форми контролю:** розв'язування задач.

#### Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

#### Надлишковим або манометричним тиском називається

- A. різниця між абсолютним і атмосферним тиском
- B. різниця між атмосферним і абсолютним і тиском
- C. сума між абсолютним і атмосферним тиском
- D. множення між абсолютним і атмосферним тиском

#### Вакуум (розрідження)

- A. недолік тиску до абсолютного
- B. недолік тиску до атмосферного
- C. недолік тиску до максимального
- D. недолік тиску

#### Основне рівняння гідростатики

- A.  $P_{\text{абс}} = P_{\text{ат}} - P_{\text{абс}}$
- B.  $P = P_0 + \rho g h$
- C.  $P = P_0 - \rho g h$
- D.  $P = P_0 + \rho g h$

#### Одна атмосфера дорівнює

- A. 98100 Па
- B. 95100 Па
- C. 93100 Па
- D. 90100 Па

Якщо абсолютний тиск ( $p_{\text{абс}}$ ) більший за атмосферний тиск ( $p_{\text{ат}}$ ), то надлишок над атмосферним тиском називається

- A. манометричним тиском
- B. надмірним тиском
- C. сумарним тиском
- D. технічним тиском

**Гідростатичний тиск можна виразити.**

- A. стовпчиком рідини
- B. у воді
- C. у повітрі
- D. стовпчиком піску

1. Визначити абсолютний (повний) гідростатичний і надлишковий тиск на дні ємності з водою, глибина якого 1,2 м, якщо над водою тиск атмосферний.

2. Визначити повний гідростатичний тиск і вакуум в точці, розташованій на глибині 0,5 м в ємності з густиною  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ . Тиск на вільній поверхні рідини складає  $P_0 = 0,9 P_{\text{ат}}$ .

3. Визначити всі види гідростатичного тиску в ємності з рідиною на глибині 3 м, при тиску на вільну поверхню рідини  $210^5 \text{ Па}$ . Густина рідини складає  $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

4. До вільної поверхні площею  $10 \text{ см}^2$  ємності з водою глибиною 50 см прикладена поршнем сила 50 Н. Визначити гідростатичний тиск на всю площу дна ємності  $100 \text{ см}^2$ .

5. Визначити глибину води  $h_1$  в ємності, що сполучається з ємністю з рідиною, густина якої  $\rho_2 = 860 \text{ кг/м}^3$  і її глибина над площею розділу  $h_2 = 0,73 \text{ м}$ .

6. Визначити вакуум  $P_v$  у верхній частині ємності з водою в точці 3, якщо у правому коліні U-подібної трубки знаходиться масло, з густиною  $\rho_m = 850 \text{ кг/м}^3$ . Висота стовпів рідин:  $h_1 = 0,342 \text{ м}$ ;  $h_2 = 0,8 \text{ м}$ .

7. Визначте тиск на дні океану, якщо  $H = 9 \text{ км}$ ,  $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$

Вважати морську воду нестисливою. Як зміниться густина води, якщо врахувати стисливість. Прийняти  $K = 2030 \text{ МПа}$ .

8. Визначити тиск рідини на дно циліндра (рис. 2.2), якщо зусилля на штоку циліндра  $F = 10 \text{ кН}$ , діаметр циліндра  $D = 100 \text{ мм}$ , висота циліндра  $h = 250 \text{ мм}$ , густина рідини  $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$

Яку частку у відсотках складає ваговий тиск від поверхневого тиску?

**Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.

5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

**Тема 3.** Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню.  
Побудова епюр гідростатичного тиску.

**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Надлишкова сила гідростатичного тиску на плоску стінку дорівнює**

- A. тиску в центрі ваги стінки, помноженій на її площу
- B. тиску в центрі ваги стінки, помноженій на її вагу
- C. тиску в центрі ваги стінки, помноженій на її об'єм
- D. тиску в центрі ваги стінки, помноженій на її швидкість

**Сила Архімеда діє**

- A. зверху вниз
- B. знизу вверху
- C. з боку
- D. нема різниці

**Тиск на рідину в стані теплової рівноваги передається в усіх напрямках однаково**

- A. закон Паскаля
- B. закон Архімеда
- C. закон Гука
- D. закон Н'ютона

**Точка тіла, до якої прокладено рівнодіючу сил тиску в потоці рідини або газу**

- A. центр ваг
- B. центр фігури
- C. центр тиску
- D. центр тіла

**Графічне зображення розподілу тиску рідини з якої-небудь поверхні називається**

- A. епюр сил
- B. епюр моментів
- C. епюр гідростатичного тиску



D. всі відповіді

**Координату центра тиску можливо знайти за**

A.  $y = \frac{2}{3}(h_2 - h_1)$

B.  $y = h_1 + \frac{2}{3}(h_1 - h_2)$

C.  $y = \frac{2}{3}h_2$

**Координата геометричного центра епюри тиску є**

A. координата начала тиску

B. координата центра тиску

C. координата центра ваги

D. Координата центра момента

**Точку на змоченій частині стінки, через яку проходить лінія дії сили тиску називають**

A. центром тиску

B. центром ваг

C. центром сил

D. центром рівноваги

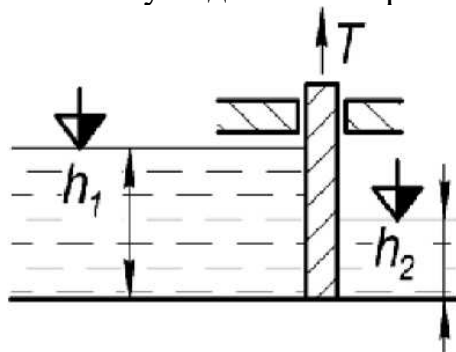
3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Підпірна прямокутна вертикальна стінка шириною  $b = 200$  м стримує натиск води висотою  $H = 10$  м. Визначити силу повного тиску на стінку  $P$  і перекидаючий момент  $M$ . Побудувати епюру тисків.

2. Поршневий насос двосторонньої дії подає воду з витратою  $Q = 10$  л/с на висоту  $H_2 = 40$  м по трубопроводу довжиною  $l = 80$  м і діаметром  $d = 100$  мм. Визначити діаметри циліндра і штока  $D$  і  $d_{ш}$ , хід поршня  $h$  і потужність насоса, якщо частота обертання кривошипа  $n = 100$  об/хв, об'ємний ККД насоса  $\eta_o = 0,9$ , повний ККД  $\eta = 0,8$ . Задані відносини  $h/D = 1,5$  і  $d_{ш}/D = 0,20$ , коефіцієнт втрат на тертя  $\lambda = 0,03$ , сумарний коефіцієнт місцевих опорів  $\Sigma\xi = 25$ .

3. Отвір шлюзу-регулятора перекрито плоским металевим затвором висотою  $a = 4$  м, шириною  $b = 3$  м і товщиною  $z = 0,25$ , питома вага матеріалу, з якого він виготовлений  $\gamma = 11$  кН/м<sup>3</sup>. Глибина води ліворуч від затвора  $h_1$ , праворуч  $h_2$ .

Визначити початкову силу тяги  $T$ , необхідну для відкриття затвора, рівнодіюча сили тиску води на затвор і положення центру її застосування



### **Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гідравліке / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

### **Тема 4. Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску».**

**Форми контролю:** розв'язування задач

#### **Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

#### **Об'єм зануреної частини називають**

- A. об'єм тіла
- B. об'єм водотонажності
- C. об'єм мокрого тіла
- D. об'єм зануреного тіла

**Відстань між центром ваги і центром об'єму водотонажності називають**

- A. ексцентриситетом
- B. квалітетом
- C. ексцентриком
- D. медіаною

**У формулі для визначення горизонтальної складової сили тиску на криволінійну стінку  $P = \rho g h \omega$ , де  $\omega$  - площа**

- A. криволінійної поверхні
- B. вертикальної проекції криволінійної поверхні
- C. перерізу тіла тиску
- D. поверхні рідини перед стінкою

**У формулі для визначення вертикальної складової сили тиску на криволінійну стінку  $P = \rho g V$ , де  $V$  це об'єм**

- A. тіла тиску

- B. рідини, яка діє на стінку
- C. об'єм рідини, яка діє на стінку разом з об'ємом сили тиску
- D. зануреного тіла

**Умова стану рівноваги**

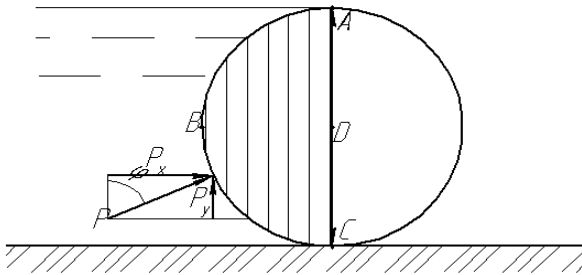
- A.  $P_{арх} = P + G$
- B.  $G = P + P_{арх}$
- C.  $P = G + P_{арх}$
- D. усі вірні

**Остійністю плаваючого тіла називається**

- A. здатність виринати
- B. здатність не тонути
- C. здатність плити тілу
- D. здатність, відновлювати стан рівноваги після припинення дії зовнішньої сили, що викликала крен

**3. Задачі для самостійного розв'язування.**

1. Визначити величину і напрям сили гідростатичного тиску води на 1 метр ширини вальцового затвора діаметром  $D = 3,5$  м



2. Визначити абсолютне і надлишковий гідростатичний тиск води в точці А на глибині  $h = 0,5$  м від поршня якщо на поршень діаметром  $d = 200$  мм впливає сила  $P = 6,2$  кН, а атмосферний тиск  $p_a = 0,1$  МПа.

3. Бак для води склепан з чотирьох рядів листової сталі при висоті кожного ряду  $a = 1,5$  м. Визначити товщину стінки нижнього ряду, припускаючи, що бак наповнений водою доверху. Діаметр бака  $d = 80$  мм. Напряга, що допускається на розрив  $s = 800$  кг / см<sup>2</sup>.

4. Визначити силу сумарного тиску на торцеву плоску стінку циліндричної цистерни діаметром  $d = 2,4$  м і точку її застосування. Висота горловини  $h_r = 0,6$  м. Цистерна заповнена бензином до верху горловини

5. Прямокутний поплавок площею  $10 \times 20$  см плаває у воді. Визначити висоту  $h$  зануреної в воду частини поплавця, якщо його вага  $G = 2,5$  Н

6. Визначити вагу вантажу, встановленого на круглому в плані металевому понтоні діаметром  $d = 4$  м, якщо після установки вантажу осадку понтона збільшилася на  $h = 0,6$  м.

**Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне:

НУВГП, 2009. 376 с.

2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

## **Тема 5. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі**

**Форми контролю:** розв'язування задач

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Гідравлічний ухил**

- A. зміна повного напору на одиницю довжини
- B. зміна повного напору на одиницю тиску
- C. зміна повного напору на одиницю площі
- D. зміна повного напору на одиницю об'єму

**Напірна лінія показує**

- A. зміну швидкісного напору в потоці між перерізами
- B. зміну п'єзометричної висоти в потоці між перерізами
- C. зміну геометричної висоти в потоці між перерізами
- D. зміну п'єзометричного напору в потоці між перерізами

**Коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкостей по перетину потоку**

- A. коефіцієнт Архімеда
- B. коефіцієнт Коріоліса
- C. коефіцієнт Жуковського
- D. коефіцієнт Н'ютона

**П'єзометричний ухил**

- A. це зміна п'єзометричного напору на одиницю площі
- B. це зміна п'єзометричного напору на одиницю довжини
- C. це зміна п'єзометричного напору на одиницю тиску
- D. це зміна п'єзометричного напору на одиницю об'єму

**Питома енергія це –енергія віднесена до**

- A. до одиниці ваги рідини
- B. до одиниці маси рідини
- C. до одиниці площі перерізу
- D. до одиниці часу

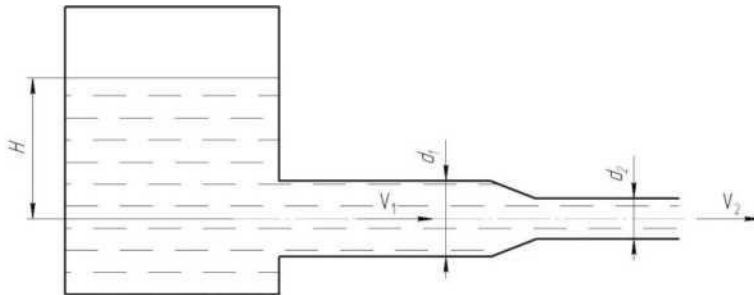
**П'єзометрична лінія показує**

- A. зміну швидкісного напору в потоці між перерізами
- B. зміну п'єзометричної висоти в потоці між перерізами
- C. зміну геометричної висоти в потоці між перерізами
- D. зміну п'єзометричного напору в потоці між перерізами

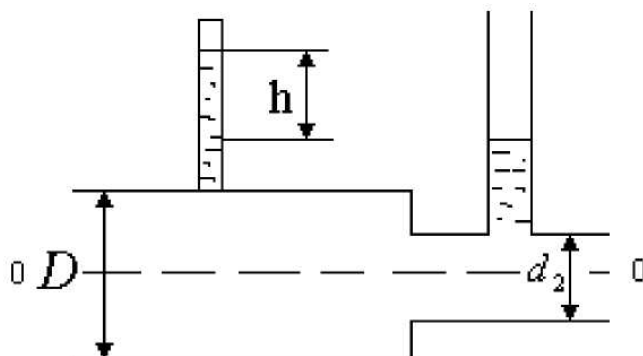
**3. Задачі для самостійного розв'язування.**

1. Визначити витрату води, яка витікає з труби діаметром 45 мм і довжиною 400 м під напором  $H=2,5$  м. Площа вільної поверхні води значно більша за переріз трубопроводу.

2. З напірного баку вода тече по трубі (рис. 5.2) діаметром  $d_1 = 20$  мм, а потім витікає в атмосферу через насадок діаметром  $d_2 = 10$  мм. Надлишковий тиск повітря в баці  $p_0 = 0,18$  МПа; рівень води в баці  $H = 1,6$  м. Нехтуючи втратами енергії, визначте швидкість води в трубі  $v_1$  і на виході з насадку  $v_2$ .



3. Визначте витрату води, якщо різниця рівень води в п'єзометричних трубках  $h = 1,5$  м; діаметри трубопроводу  $D = 40$  мм.;  $d = 20$  мм. Втрати напору не враховувати.



4. Визначити глибину занурення і остійність залізобетонного понтона, що має форму паралелепіпеда висотою  $h = 1,8$  м, шириною  $b = 2,5$  м, довжиною  $l = 6$  м. Товщина стінок понтона  $\delta = 0,1$  м.

## **Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

## **Тема 6. Втрати натиску**

**Форми контролю:** розв'язування задач.

### **Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**При русі рідини в круглих трубах постійного перерізу втрати напору на тертя визначаються за формулою**

- A. Д. Бернуллі
- B. Дарсі-Вейсбаха
- C. Н'ютона
- D. Жуковського

**Для області гідравлічно гладких труб коефіцієнт гідравлічного тертя  $l$  визначається за формулою**

- A. Д. Бернуллі
- B. Дарсі-Вейсбаха
- C. Блазіуса
- D. Гука

**Турбулентний режим настає, якщо  $Re$  ,більше**

- A. 1000
- B. 1800
- C. 2300
- D. 2500

**В квадратичній області опору (області гідравлічно шорстких труб) коефіцієнт  $l$  може бути знайдено за формулою**

- A. Шифринсона
- B. Блазіуса

- C. Дарсі-Вейсбаха
- D. Гука

**Втрати напору у місцевих опорах визначаються за формулою**

- A. Гука
- B. Жуковського
- C. Блазіуса
- D. Вейсбаха

**Що обумовленими гідравлічними опорами**

- A. втратами тиску
- B. втратами напору
- C. втратами температури
- D. втратами рідини

**Ламінарний режим настає, якщо  $Re$  , менше**

- A. 2500
- B. 2300
- C. 1800
- D. 1000

**Незмінна у часі за напрямком і величиною швидкість**

- A. осереднена
- B. пульсаційна
- C. миттєва
- D. постійна

**Швидкість при якій відбувається зміна режимів**

- A. пульсаційна
- B. миттєва
- C. осереднена
- D. постійна

3. Задачі для самостійного розв'язування

1. При відомих діаметрі  $d$ , довжині  $l$  і витраті  $Q$  визначити необхідний напір  $H$ .

2. Визначити надлишковий тиск в трубопроводі на виході з насоса, якщо витрата води по трубопроводу складає  $24 \text{ м}^3/\text{год}$ . Довжина трубопроводу  $120 \text{ м}$ , висота  $h = 960 \text{ мм}$ , діаметр труби  $d = 100 \text{ мм}$ , еквівалентна шорсткість  $D_e = 0,5 \text{ мм}$ , ступінь відкриття засувки  $0,7$ , радіус закруглення відводів  $R = 200 \text{ мм}$ .

3. По трубопроводу довжиною  $1378 \text{ м}$  перекачується  $36 \text{ м}^3/\text{год}$  вода з швидкістю  $1,28 \text{ м/с}$ . Необхідно визначити діаметр трубопроводу і втрати напору, якщо на ньому розташовано зворотний клапан ( $Z=1,7$ ), засувка ( $Z=0,6$ ) і поворот на  $90^\circ$  ( $\xi=1,2$ ). Коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  на трубопроводі дорівнює  $0,03$ .

4. Визначте повні втрати тиску у напірній гідролінії, якщо витрата робочої рідини  $Q=60$ ; л/хв, Діаметр гідролінії  $D=10$ , мм довжина гідро лінії

$l=5, \text{ м}$ . Робоча рідина має густину  $\rho=929 \text{ кг/м}^3$ , кінематична в'язкість  $\nu=1.2, \text{ сСт}$ . Напірна гідролінія має 2 повороти і гідророзподільник, втрати тиску в якому  $\Delta P = 0,18 \text{ МПа}$ . Еквівалентна рівномірно-зерниста шорсткість  $k_e=0.1, \text{ мм}$

5. Визначити число Рейнольдса і режим руху води в водопровідній трубі діаметром  $d = 300 \text{ мм}$ , якщо протікає по ній витрата  $Q = 0,136 \text{ м}^3 / \text{ с}$ . Температура води  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гідравліке / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

### **Тема 7 Розрахунок коротких трубопроводів**

**Форми контролю:** розв'язування задач.

#### **Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

#### **Простий трубопровід**

- A. трубопровід постійного по всій довжині діаметра
- B. рівний трубопровід
- C. трубопровід постійного по всій довжині матеріалу
- D. усі вірні

#### **Коротким називають трубопровід, при гідравлічному розрахунку якого**

- A. можна знехтувати втратами напору по довжині, а враховувати тільки місцеві втрати напору
- B. можна знехтувати як місцевими втратами напору, так і втратами напору по довжині
- C. необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині
- D. необхідно враховувати тільки втрати напору по довжині, а місцевими втратами напору можна знехтувати



**За яким критерієм визначають рух рідини**

- A. Рейнольдс
- B. Вебер
- C. Фруд
- D. Коши

**Коефіцієнт кінетичної енергії  $\alpha$ , з формули Бернуллі, при ламінарному режимі дорівнює**

- A. 1,
- B. 1,2
- C. 1,6
- D. 2

**Фізичний зміст числа Рейнольдса**

- A. відношення сил інерції до сил тертя
- B. відношення сил інерції до сил тяжіння
- C. відношення сил інерції до сил тиску
- D. відношення сил інерції до сил поверхневого натягу

**Як називають режим руху рідини, який відбувається з інтенсивним перемішуванням частинок рідини**

- A. рівномірним
- B. нерівномірним
- C. ламінарним
- D. турбулентним

**Що є головною причиною утворення витрат механічної енергії рідини**

- A. в'язкість
- B. швидкість
- C. шорсткість русла
- D. розміри русла

**Як називають режим руху рідини, який відбувається без перемішуванням частинок рідини**

- A. рівномірним
- B. нерівномірним
- C. ламінарним
- D. турбулентним

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити напір, який повинен розвивати насос, щоб забезпечити подачу води в заводські цехи, розташовані на горизонтальній площадці. Величини витрат, довжини і діаметри ділянок відповідно рівні:

- $Q_1 = 10$  л / сек,  $l_1 = 350$  м,  $d_1 = 100$  мм;
- $Q_2 = 5$  л / сек,  $l_2 = 450$  м,  $d_2 = 150$  мм;
- $Q_3 = 10$  л / сек,  $l_3 = 600$  м,  $d_3 = 200$  мм;

Абсолютну шорсткість стінок труб на всіх ділянках прийняти рівною 0,5 мм.

2. З резервуара 1 по трубі діаметром  $d = 200$  мм, довжиною 180 м, що має чотири паливних повороту і один вентиль, вода перетікає в резервуар 2. Визначити витрату води при різниці рівнів в резервуарах 3,8 м, абсолютної шорсткості стінок труб 0,5 мм. При розрахунку прийняти: коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda = 0.03$ , коефіцієнти місцевих опорів: входу в трубопровід 0,8, вентиля 10, повороту 0,3, виходу під рівень 1.

3. Визначити втрати тиску на ділянці повітропровід довжиною  $l = 10$  м, діаметром  $d = 320$  мм, якщо сума коефіцієнтів місцевих опорів  $\Sigma \zeta = 5$ , а витрата повітря  $Q = 1450$  м<sup>3</sup> / год.

4. Побудувати характеристику повітропровіда якщо з розрахунку відомо, що  $\Delta p_{\omega} = 500$  Па при  $Q = 20000$  м<sup>3</sup>/ч.

### Список використаної літератури:

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

### Тема 8 Гідравлічні розрахунки довгих трубопроводів

**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Довгим називають трубопровід при гідравлічному розрахунку якого**

А. Необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині

В. Необхідно враховувати тільки втрати напору по довжині, а місцевими втрати напору можна знехтувати

С. можна знехтувати втратами напору по довжині, а враховувати тільки місцеві втрати напору

Д. можна знехтувати втратами напору як місцевими так і по довжині

**Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині, називають**

- A. насадок;
- B. короткий трубопровід
- C. довгий трубопровід
- D. . усі відповіді

**Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати втрати напору по довжині, а місцевими втратами напору можна знехтувати, називають:**

- A. насадок;
- B. короткий трубопровід;
- C. довгий трубопровід.
- D. усі відповіді

**Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати місцеві втрати напору, а втратами напору по довжині можна знехтувати, називають:**

- A. насадок;
- B. короткий трубопровід;
- C. довгий трубопровід.
- D. . усі відповіді

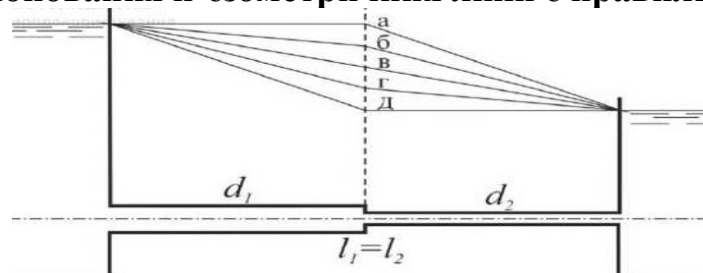
**$\lambda$  у формулі для визначення втрат напору**

- A. коефіцієнт кількості руху
- B. коефіцієнт тертя
- C. коефіцієнт кінетичної енергії
- D. коефіцієнт Шезі

**У випадку довгих трубопроводів**

- A. місцеві втрати напору значно перевищують втрати напору по довжині;
- B. втрати напору по довжині значно перевищують місцеві втрати напору;
- C. місцеві втрати напору і втрати напору по довжині є спів- мірними.
- D. усі відповіді

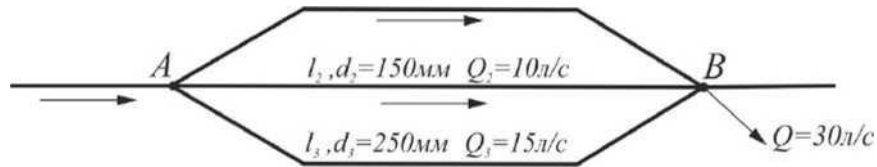
**Яка із запропонованих п'єзометричних ліній є правильною**



- A. а.
- B. б.

- C. с.  
D. д.

При паралельному з'єднанні довгих трубопроводів, яке співвідношення між втратами напору і на кожній з ділянок є правильним



- A.  $h_{d1} + h_{d2} = h_{d3}$   
 B.  $h_{d1} = h_{d2} = h_{d3}$   
 C.  $h_{d1} > h_{d2} > h_{d3}$   
 D.  $h_{d1} < h_{d2} < h_{d3}$

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Вода подається напором по трубі квадратного перерізу розмірами  $a \times a$  ( $a = 20 \text{ см}$ ) витратою  $Q = 0,3 \text{ л/с}$  при температурі  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\nu = 0,0101 \text{ см}^2/\text{с}$ ).

2. Для пропуску через трубопровід витрати  $Q = 50 \text{ л/с}$  повинен бути забезпечений напір  $H$ .

3. Якщо на поверхні води у резервуарі буде манометричний тиск  $p_0 = 4,905 \text{ кПа}$ , то для пропуску витрати  $Q = 50 \text{ л/с}$  достатньо такого напору  $H$ .

### Список використаної літератури:

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431 с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

## ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 В'ЯЗКА РІДИНА. ПРИКОРДОННИЙ ШАР

**Тема 9** Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел.  
**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Малими називають отвори, в яких вертикальні розміри (висота прямокутного отвору, діаметр круглого отвору) не перевищують**

- A. 0,1 напору
- B. 0,2 напору
- C. 0,3 напору
- D. 0,5 напору

**Місце розташування отворів відносно стінок резервуара впливає на їх пропускну здатність. Цей вплив враховується коефіцієнтом**

- A. коефіцієнт стиснення струмینی
- B. коефіцієнт гасіння струмینی
- C. коефіцієнт розпорошення струмینی
- D. коефіцієнт геометрії струмینی

**Насадками називаються короткі трубки, довжина яких рівняється**

- A. (1...2) d
- B. (2...3) d
- C. (3...4) d
- D. (4...5) d

**Якщо отвір влаштовано в стінці, товщина якої  $\delta$  то такий отвір працює як насадок**

- A. (1...2) d
- B. (2...3) d
- C. (3...4) d
- D. (4...5) d

**$\mu_3$  - коефіцієнт витрати затопленого отвору, визначається за формулою**

- A. Альтшуля;
- B. Вебер
- C. Фруд
- D. Коши.

До малого отвору діаметром  $d = 6$  см приєднаний патрубок довжиною  $l$ . При якій довжині патрубка він є насадком

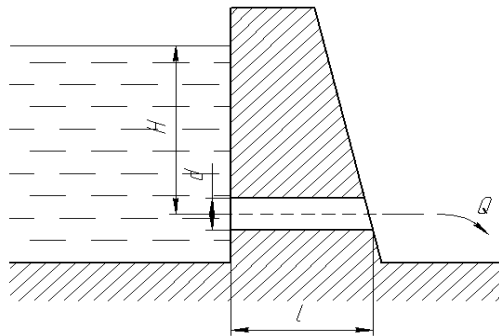
- A. 5 см
- B. 10 см
- C. 15 см
- D. 20 см

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити витрату і швидкість витікання води з круглого отвору діаметром 20 мм в боковій стінці резервуара великих розмірів, так, що рівень води в резервуарі можна вважати постійним і глибину  $H$  рівній 2 м. Температура води дорівнює  $20$  °С ( $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

2. Визначити витрату і швидкість витікання води з малого круглого отвору діаметром  $d = 0,03$  мм в боковій стінці резервуара великих розмірів. Напір над центром отвору  $H = 1$  м, температура води  $20$  °С.

3. Визначити витрату води  $Q$ , що проходить через Водоспускові трубу в бетонній греблі (рис. 7.6), якщо натиск над центром труби  $H = 14$  м, діаметр труби  $d = 1,75$  м, довжина її  $l = 10$  м.



4. Геометричний напір над центром прямокутного отвору, висотою  $a$  та шириною  $b$ , дорівнює  $H = 100$  см. При яких параметрах отвору  $a$  та  $b$  отвір вважатиметься гідравлічно малим:

#### Рекомендована література:

- 1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
- 2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431 с.
- 3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
- 4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
- 5. Справочник по гідравліке / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

## Тема 10. Гідравлічний удар

**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Малими називають отвори, в яких вертикальні розміри (висота прямокутного отвору, діаметр круглого отвору) не перевищують**

- A. 0,1 напору
- B. 0,2 напору
- C. 0,3 напору
- D. 0,5 напору

**Місце розташування отворів відносно стінок резервуара впливає на їх пропускну здатність. Цей вплив враховується коефіцієнтом**

- A. коефіцієнт стиснення струмینی
- B. коефіцієнт гасіння струмینی
- C. коефіцієнт розпорошення струмینی
- D. коефіцієнт геометрії струмینی

**Насадками називаються короткі трубки, довжина яких рівняється**

- A. (1...2) d
- B. (2...3) d
- C. (3...4) d
- D. (4...5) d

**Якщо отвір влаштовано в стінці, товщина якої 8 то такий отвір працює як насадок**

- A. (1...2) d
- B. (2...3) d
- C. (3...4) d
- D. (4...5) d

**Яким буде максимальне підвищення тиску  $A_p$  в кінці першої фази удару при швидкості руху води у трубопроводі  $v_0 = 1 \text{ м/с}$ :**

- A. 1481 кПа;
- B. 1110 кПа
- C. 888 кПа
- D. 740 кПа

**У сталюму трубопроводі, довжиною  $l=1000 \text{ м}$ , діаметром  $d=200 \text{ мм}$ , товщиною стінок  $b=5 \text{ мм}$ , рухається вода із швидкістю  $v_0 = 1,2 \text{ м/с}$ . Якою є швидкість розповсюдження ударної хвилі  $c$  при гідравлічному ударі:**

- A. 1204 м/с

- B. 1806 м/с
- C. 2408 м/с
- D. 3612 м/с

**У сталюму трубопроводі, довжиною  $l=1000$  м, діаметром  $d=200$  мм, товщиною стінок  $b=5$  мм, рухається вода із швидкістю  $v_0 = 1,2$  м/с. Яким є підвищення тиску (величина удару)  $A_p$  при прямому ударі**

- A. 2167,2 кПа
- B. 2889,6 кПа
- C. 4334,4 кПа
- D. 1444,8 кПа.

**У яких трубах при прямому гідравлічному ударі підвищення тиску  $A_p$  буде найбільшим**

- A. сталі;
- B. чавунні;
- C. пластмасові.
- D. скляні;

**У яких трубах при прямому гідравлічному ударі підвищення тиску  $A_p$  буде найменшим**

- A. сталі;
- B. чавунні;
- C. пластмасові.
- D. скляні;A.

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Визначити ударне підвищення тиску в сталевій трубі діаметром  $d = 0,2$  м і товщиною стінок  $\delta = 5$  мм при миттєвому закритті крана, якщо витрата води  $Q = 60$  л / с, модулі пружності стінок труби  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па і води  $E_0 = 2 \cdot 10^9$  Па

2. Визначити необхідний тиск на початку магістрального сталевого газопроводу діаметром  $d = 300$  мм для транспортування  $20000$  м<sup>3</sup> / ч газу з щільністю  $\rho = 1,3$  кг / м<sup>3</sup>. Довжина трубопроводу  $L = 2000$  м;  $k_e = 0,01$  см, а кінцевий тиск в магістралі  $p_2 = 1,5 \cdot 10^5$  Па.

3. Якою буде величина підвищення тиску  $A_p$  біля засувки при прямому ударі і швидкості руху води у трубопроводі  $v_0 = 1$  м/с

4. Який час є фазою гідравлічного удару у трубопроводі довжиною  $l = 1000$  м при швидкості розповсюдження ударної хвилі  $c = 1062$  м/с:

### **Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.



3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

**Тема 11. Розрахунок параметрів пограничного шару**  
**Форми контролю:** розв'язування задач.

**Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**Які частки утворюють за тілом область, називану аеродинамічним слідом**

- A. швидкісні
- B. загальмовані
- C. пасивні
- D. всі стрічні

**Завдяки якій властивості приграничного шару диференціальні рівняння руху в'язкої рідини значно спрощуються**

- A. тиску
- B. температурі
- C. малої товщині
- D. швидкості

**Що відбувається при турбулізації в прикордонному шарі при великих  $Re$**

- A. падіння коефіцієнта опору
- B. збільшення коефіцієнта опору
- C. падіння коефіцієнта в'язкості
- D. збільшення коефіцієнта в'язкості

**Криза опору**

- A. падіння коефіцієнта опору
- B. збільшення коефіцієнта опору
- C. втрату імпульсу
- D. збільшення імпульсу

**Відстань від стінки, виміряний в масштабі товщини прикордонного шару**

- A. змінна подібності  $\eta$

- B. похідна подібності  $\eta$
- C. інтеграл подібності  $\eta$
- D. постійна подібності  $\eta$

**Скільки крайових умов існує в Теорії прикордонного шару**

- A. дві
- B. три
- C. чотири
- D. п'ять

**3. Задачі для самостійного розв'язування.**

1. Плоска пластина довжиною  $l = 0,6$  м і шириною  $b=0,5$  м обтікається потоком повітря зі швидкістю  $V_\infty = 10$  м/с. Тиск повітря  $p = 1 \cdot 10^5$  Па, температура  $T = 293$  К. Знайти силу тертя  $F_{тр}$ , що діє на обидві сторони пластини. Кінематичний коефіцієнт в'язкості  $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

2. Розрахувати ламінарний приграничний шар на плоскій пластині довжиною  $l = 0,5$  м, яка обтікається при куті атаки рівним нулю потоком повітря зі швидкістю  $V_\infty = 10$  м/с. Тиск повітря  $p = 1 \cdot 10^5$  Па, температура  $T=303$  К. Визначити товщину приграничного шару  $\delta$  і розподіл швидкості  $u$  поперек шару на вихідній кромці пластини. Побудувати графік залежності  $u/V = (f/y \delta)$

3. Розрахувати турбулентний приграничний шар на плоскій пластині довжиною  $l=1$  м, яка обтікається при куті атаки рівним нулю потоком води з швидкістю  $V_\infty = 8$  м/с. Температура води  $T=303$  К. Визначити товщину приграничного шару  $\delta$  на вихідній кромці пластини. Побудувати графік розподілу швидкості в приграничному шарі ( $\nu = 0,87 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\rho=995$  кг/м<sup>3</sup>).

4. Плоска гладка пластина довжиною  $l = 40$  м і шириною  $b=5$  м обтікається потоком води зі швидкістю  $V_\infty = 10$  м/с. Температура води  $T=303$  К. Визначити силу тертя  $F_{тр}$ , що діє на одну сторону пластини.

5. Плоска пластина з двох сторін обтікається потоком нестисливої рідини зі швидкістю  $V_\infty = 10$  м/с. Густина рідини  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. На вихідній кромці пластини відомі товщина приграничного шару  $\delta = 2,8$  мм і закономірність розподілу швидкості поперек сліду  $u/V = (f/y \delta)^\infty$ . Знайти силу тертя  $F_{тр}$ , що діє на одиницю ширини пластини та кінетичну енергію кин  $E$ , яка перейшла в теплоту внаслідок роботи сил тертя.

**Рекомендована література:**

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.

3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

## **Тема 12. Надзвукова швидкість**

**Форми контролю:** розв'язування задач.

### **Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

#### **Кут Маха є величина**

- A. прямо пропорційною числу Маха
- B. рівною числу Маха
- C. зворотно пропорційною числу Маха
- D. залежною к числу Маха

#### **Ударна хвиля це**

- A. стрибкоподібне підвищення тиску і густини
- B. стрибкоподібне підвищення тиску і температури
- C. стрибкоподібне підвищення температури і густини
- D. стрибкоподібне підвищення усіх величин

**Лінії струму можуть перетинати стрибок ущільнення під гострим кутом, такий стрибок ущільнення називається**

- A. прямим стрибком
- B. косим стрибком.
- C. лямбдаподібним стрибком
- D. розвернутим стрибком

**Потік, у якому лінії струму мають такий обрис, що всі лінії Маха проходять через загальну точку**

- A. Течія Прандтля–Майєра
- B. Течія Шифринсона
- C. Течія Дарсі-Вейсбаха
- D. Течія Гука

**Потік, що обтікає кут, у якому число Маха змінюється від одиниці до нескінченності**

- A. Закінченим потоком із простими хвилями
- B. Початковий потоком із простими хвилями
- C. Закінченим потоком із малими хвилями

Д. Закінченим потоком із великими хвилями

**Після якого вугла починається зона кавітації, суміжна зі стінкою.**

- A.  $60^\circ$
- B.  $90^\circ$
- C.  $115^\circ$
- D.  $130,5^\circ$

**Співвідношення, що зв'язує відношення тисків і відношення густин, відомо під назвою**

- A. Рівняння Ренкіна–Гюгоніо
- B. Рівняння Дарсі-Вейсбаха
- C. Рівняння Прандтля–Майєра
- D. Рівняння Шифринсона

3. Задачі для самостійного розв'язування.

1. Літальний снаряд у польоті рухається з більш– менш конічно обкресленим стрибком перед ним. З фізичних міркувань очевидно, що на великій відстані від снаряда ця хвиля стрибка стає строго конічною і зміна в швидкості і густині під час переходу через стрибок стає нескінченно малою. Фотографії польоту кулі показують, що на великій відстані від кулі загальний кут нахилу конуса дорівнює  $50,3^\circ$ . Тиск і температура незбуреного повітря  $0,101325$  МПа і  $38^\circ\text{C}$  відповідно. Визначити швидкість кулі в м/с і число Маха кулі відносно незбуреного потоку.

2. Надзвуковий літак рухається на висоті  $H = 8000$  м зі швидкістю  $450$  м/с ( $T_H = 236$  К). Через скільки часу спостерігач почує звук від літака, що пролетів мимо нього?

3. Стрілоподібне крило з кутом  $\gamma = 40^\circ$  рухається в зустрічному потоці зі швидкістю  $250$  м/с. Швидкість потоку, що набігає на крило  $250$  м/с, а температура  $20^\circ\text{C}$ . З'ясуйте, чи знаходиться крило в збуреній області і з якою швидкістю буде обтікати нормальний перетин крила.

4. Кут Маха при русі точки складає  $\alpha = 30^\circ$ . Визначити швидкість розповсюдження звуку, якщо швидкість руху точки дорівнює  $V = 400$  м/с.

5. Які параметри (тиск, температуру) повинно мати повітря у форкамері надзвукової труби, щоб при розрахунковому розширенні воно витікало в атмосферу зі швидкістю  $800$  м/с при  $t_C = -70^\circ$ . Яким при цьому буде співвідношення між густиною повітря в струмені і густиною за нормальних умов? Мається на увазі проста труба з соплом, відкритим в атмосферу.

6. Знайти швидкість звуку, числа  $M$  і  $\lambda$  для струму повітря, витікаючого з балона зі швидкістю, рівній половині максимальної теоретичної швидкості витікання. Температура в балоні  $127^\circ\text{C}$

### Рекомендована література:

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.

2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

**Тема 13.** Розрахунок характеристик лопатевих нагнітачів.

**Форми контролю:** розв'язування задач.

### **Завдання для самостійної роботи:**

1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.
2. Розв'яжіть тестові завдання.

**В число робочих органів пластинчастого входять**

- A. зубчасті передачі
- B. шибери
- C. гвинторізи
- D. конусні передачі

**Робочі характеристики насоса – графічна залежність основних технічних показників від**

- A. подачі
- B. напору
- C. допустимої висоти поглинання
- D. тиск

**Центробіжні насоси поділяються на 17 груп, з-поміж яких є**

- A. консольні, горизонтальні
- B. піскові, ґрунтові, шламові
- C. усі відповіді вірні
- D. вертикальні, горизонтальні

**Аксіально-поршнеvim називають роторно-поршневий насос, у якого вісь обертання ротора паралельна осям робочих органів або становить з ними кут менше або дорівнює**

- A.  $90^{\circ}$
- B.  $45^{\circ}$
- C.  $35^{\circ}$
- D.  $120^{\circ}$

**Рівняння Ейлера дозволяє побудувати теоретичні характеристики**

- A. нагнітачів
- B. напору
- C. подачі рідини
- D. тиску

**Водокільцеві насоси відносяться до групи**

- A. спеціальних насосів
- B. діагональних насосів
- C. вакуум-насосів
- D. плужних насосів

**Насоси тертя та інерції є групою**

- A динамічних насосів
- B. об'ємних насосів
- C. плужних насосів
- D. осьових насосів

**Робочим органом гідравлічної машини є**

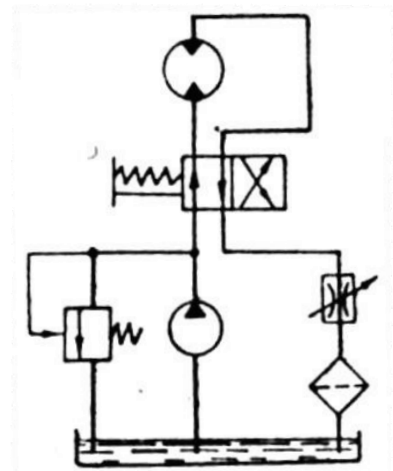
- A. гідравлічний двигун
- B. турбіни
- C. усі відповіді вірні
- D. електродвигун

**3. Задачі для самостійного розв'язування.**

1. Трьох поршневий насос односторонньої дії розвиває тиск  $p = 0,64$  МПа і подачу  $Q = 10$  л/с. Визначити частоту обертання валу насоса і його потужність, якщо діаметр поршня  $D = 150$  мм, радіус кривошипа  $r = 60$  мм, об'ємний ККД насоса  $\eta_o = 0,94$ , повний ККД  $\eta = 0,80$ .

2. Поршневий насос односторонньої дії подає воду в резервуар місткістю  $7$  м<sup>3</sup>. Визначити час наповнення резервуара, якщо діаметр поршня насоса дорівнює  $150$  мм, радіус кривошипа -  $125$  мм, частота обертання колінчастого валу -  $50$  об/хв, об'ємний ККД насоса -  $0,95$ .

3. В об'ємному гідроприводі оберտального руху з управлінням гідроросель встановлений на виході (рис. 4). Частота обертання гідромотора  $n = 1600$  об/хв, момент на валу  $M = 22$  Н · м, робочий об'єм гідромотора  $q_{ом} = 32$  см<sup>3</sup>, механічний ККД  $\eta_{мм} = 0,90$ , об'ємний  $\eta_{ом} = 0,94$ . Втрати тиску в золотниковому Гідророзподільники, дроселі та фільтрі відповідно рівні:  $\Delta p_p = 0,2$  МПа,  $\Delta p_{др} = 0,5$  МПа,  $\Delta p_{ф} = 0,10$  МПа. Втрати тиску в трубопроводах складають 5% перепаду тиску в гідромоторі. подача насоса на 10% більше витрат гідромотора, ККД насоса  $\eta_n = 0,88$ . Визначити ККД гідроприводу.



### Рекомендована література:

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне: НУВГП, 2009. 376 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. К.: Вища школа, 2010. 431с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни «Гідрогазодинаміка». Рівне : НУВГП, 2007. 118 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка: підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большакова В. А. К. : Вища школа, 1984. 343 с.

Навчальне видання

*Омельченко Олександр Володимирович,*

*Перекрест Володимир Вікторович*

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ  
ГІДРОГАЗОДИНАМІКА**

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

Донецький національний університет  
економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
50042, Дніпропетровська обл.,  
м. Кривий Ріг, вул. Курчатова, 13.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої  
справи ДК № 4929 від 07.07.2015 р.