



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства і
природокористування
Навчально-науковий інститут
водного господарства та природооблаштування
Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки

01-04-101

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та самостійної роботи
із навчальної дисципліни
«ГІДРОГАЗОДИНАМІКА»
для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня за спеціальностями:
144 «Теплоенергетика», 145 «Гідроенергетика»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності
145 «Гідроенергетика»
Протокол № 2 від 19.10.2018 року

Рівне – 2018



Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи із навчальної дисципліни “Гідрогазодинаміка” для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальностями: 144 «Теплоенергетика», 145 «Гідроенергетика» денної та заочної форм навчання. / Л. О. Токар, В. В. Вечер, Л. Р. Ясінська – Рівне : НУВГП, 2018. – 18 с.

Укладачі: Токар Л. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки
Вечер В. В., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки
Ясінська Л. Р., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки

Відповідальний за випуск – Л. А. Шинкарук, завідувач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.



Зміст

	Стор.
Вступ	3
1. Тематика практичних занять та самостійна робота студентів	4
2. Приклади розв’язку задач	8
Рекомендована література	18

© Л. О. Токар, В. В. Вечер,
Л. Р. Ясінська, 2018
© НУВГП, 2018



Вступ

Більшість технічних систем та технологічних процесів практично у будь-якій галузі сучасного виробництва тою чи іншою мірою пов'язані з використанням рідин або газів. Особливо це стосується таких галузей як водного господарства, будівництва та енергетичної. Завдяки накопиченим знанням про закономірності поведінки рідин і газів, в умовах сучасних виробництв підвищується ефективність існуючих технологій та розробляються нові технології. Це стосується усіх технологічних процесів, які протікають у динамічних умовах і пов'язані з рухом рідин і газів, а саме: гідромеханічні, теплообмінні та масообмінні процеси.

Мета навчальної дисципліни «Гідрогазодинаміка» – формування системи знань про сутність і зміст законів спокою, рівноваги і руху рідини і газу та використання цих законів для розв'язання практичних задач.

Завдання дисципліни «Гідрогазодинаміка» є засвоєння студентами основних теоретичних понять та фундаментальних законів рівноваги і руху рідини та газу для проектування технічних систем і їх елементів.

Практична і самостійна робота студентів є необхідною складовою частиною засвоєння навчального матеріалу до дисципліни, яка передбачає:

- вивчення лекційного матеріалу і рекомендованої літератури;
- підготовку до практичних занять з дисципліни;
- виконання практичних завдань.

В результаті самостійної та практичної робіт студент повинен знати:

- основну та довідникову літературу з питань які вивчаються;
- закони статички рідини і газу;
- закони динаміки рідини і газу;
- поняття та розрахункові залежності коротких і довгих трубопроводів;
- поняття та розрахункові залежності отворів і насадків.

вміти:

- користуватися основною та довідковою літературою;
- визначати тиск та силу тиску рідини чи газу;



визначати параметри та гідравлічні елементи живого перерізу потоку;

- розраховувати короткі та довгі трубопроводи;
- розраховувати отвори та насадки.

Перший розділ методичних вказівок містить тематику практичних занять, ключові поняття, теоретичні питання для самоконтролю та рекомендовану літературу для самостійної підготовки до практичного заняття.

У другому розділі наведено приклади розв'язку задач відповідно до тематики практичних занять.

1. Тематика практичних занять та самостійна робота студентів

До тем практичних занять, передбачених робочою програмою, наведено ключові поняття, теоретичні питання для самоконтролю та рекомендовану літературу для підготовки до практичних занять.

Згідно з робочою програмою для студентів які навчаються за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» вивчаються теми 1-9, а для студентів спеціальності 145 «Гідроенергетика» - теми 2-7.

Тема 1. Термодинамічні властивості газів. Статика газів

Ключові поняття: рідина, густина, стисливість, розширення, плинність, в'язкість, рівняння стану ідеального газу, газові процеси.

Теоретичні питання для самоконтролю:

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.

Рекомендована література: [1] стор. 9-18, [2] стор. 17-23, [3] стор. 17-21.

Тема 2. Визначення гідростатичного тиску в точці рідини

Ключові поняття: тиск, види тиску (абсолютний, манометричний, вакуумметричний), вільна поверхня, площа



рівного тиску, П'єзометрична площина, площина порівняння, П'єзометр.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Поняття про гідростатичний тиск.
2. Властивості гідростатичного тиску.
3. Основні рівняння спокою рідини та їх зміст.
4. Види гідростатичного тиску.
5. Вільна поверхня. Поверхня рівного тиску. П'єзометрична поверхня. Площина порівняння.

Рекомендована література: [1] стор. 22-40, [2] стор. 27-30, [3] стор. 22-24.

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

Ключові поняття: сила тиску на плоску поверхню, складові сили тиску на плоску поверхню, центр тиску, епора гідростатичного тиску.

Теоретичні питання для самоконтролю:

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

Рекомендована література: [1] стор. 36-46, [2] стор. 38-40, [3] стор. 24-25.

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

Ключові поняття: сила гідростатичного тиску на криволінійну поверхню, складові сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню, об'єм «тіла тиску», закон Архімеда.

Теоретичні питання для самоконтролю:

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

Рекомендована література: [1] стор. 46-51, [2] стор. 41-47, [3] стор. 26-27.



Тема 5. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі

Ключові поняття: ідеальна та реальна рідина, витрата, середня швидкість, рівняння Д.Бернуллі та його тлумачення, умови та техніка використання рівняння Д.Бернуллі, рівняння нерозривності.

Теоретичні питання для самоконтролю:

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.

Рекомендована література: [1] стор. 102-130, [2] стор. 79-82, [3] стор. 28-29.

Тема 6. Гідравлічні розрахунки коротких трубопроводів.

Ключові поняття: короткий трубопровід, втрати напору в коротких трубопроводах, коефіцієнт гідравлічного тертя, коефіцієнт місцевого опору.

Теоретичні питання для самоконтролю:

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

Рекомендована література: [1] стор. 216-232, [2] стор. 137-139, [3] стор. 30-35.

Тема 7. Гідравлічні розрахунки довгих трубопроводів.

Ключові поняття: довгий трубопровід, втрати напору в довгих трубопроводах, транзитна, шляхова та розрахункова витрата, питомий опір трубопроводу, послідовне та паралельне з'єднання трубопроводів.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Поняття про довгі трубопроводи.
2. Втрати напору в довгих трубопроводах.
3. Характеристика послідовного і паралельного з'єднання довгих трубопроводів.



4. Розрахунок довгих трубопроводів при рівномірній роздачі води вздовж шляху.

5. Типи задач при розрахунках довгих трубопроводів.

Рекомендована література: [1] стор. 232-253, [2] стор. 139-151, [3] стор. 42-48.

Тема 8. Розрахунок параметрів пограничного шару

Ключові поняття: пограничний шар, швидкість незбуреного потоку, товщина пограничного шару, дотичні напруження.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Пограничний шар і його утворення вздовж плоскої пластини.
2. Товщина ламінарного та турбулентного пограничного шару.
3. Відрив пограничного шару. Точка відриву.
4. Турбулентність і турбулентний пограничний шар.
5. Вільна турбулентність.

Рекомендована література: [1] стор. 154-160, [2] стор. 95-100.

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

Ключові поняття: отвір, насадок, витрата, коефіцієнт опору, прямий і непрямий гідравлічний удар.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Поняття про отвори і насадки.
2. Пропускна здатність отворів.
3. Повне і неповне, досконале і недосконале стиснення струмини.
4. Пропускна здатність насадки.
5. Гідравлічний удар в трубопроводах. Прямий і непрямий гідравлічний удар.

Рекомендована література: [1] стор. 299-317, [2] стор. 119-127, [3] стор. 36-41.



2. Приклади розв'язку задач

Приклади розв'язку задач відповідають тематиці практичних завдань.

Приклад 1. Термодинамічні властивості газів. Статика газів

Атмосферне повітря при температурі $t_1=10^{\circ}\text{C}$ і тискові $p_1=150\text{кПа}$ займає об'єм 10м^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

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

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

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

Отже величина зміни об'єму повітря становить

$$\Delta W = W_1 - W_2$$

$$\Delta W = 10 - 3,21 = 6,79\text{ м}^3$$

Приклад 2. Визначення гідростатичного тиску в точці рідини

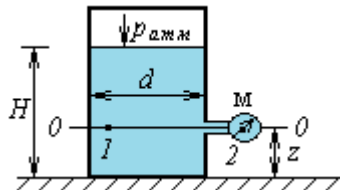
Визначити об'єм води ($\gamma=9,8\text{кН/м}^3$) в циліндричному резервуарі діаметром $d=2,5\text{ м}$, якщо манометр підключений на висоті $z=1,5\text{ м}$ від дна показує тиск $p_m=55\text{кПа}$.

Розв'язання

Об'єм бензину циліндричного резервуару $W = H\omega$,

де H – рівень води в резервуарі;

ω – площа поперечного перерізу





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 вибрано дві точки т.1 і т.2 для яких записано рівняння діючих тисків

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

$$p_{m2} = p_m .$$

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

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

Приклад 3. Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню

Визначити величину і точку прикладання сили тиску води на вертикальний щит шириною $b=2,0\text{м}$, якщо глибина води перед щитом $H=2,5\text{м}$.

Розв'язання

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)

Рис. 1. До прикладу 1

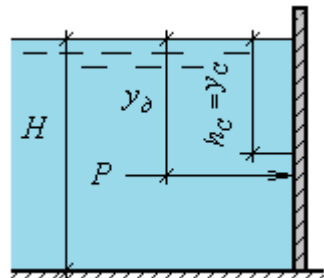


Рис. 2. До прикладу 2



вертикальний, то $h_c = y_c$,

y_c - координата центра ваги;

ω - 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

$$y_d = y_c + \frac{I_0}{y_c \omega}, \text{ де}$$

I_0 - момент інерції, який для прямокутної форми щита становить

$$I_0 = \frac{bH^3}{12}, \quad I_0 = \frac{2,0 \cdot 2,5^3}{12} = 2,60 \text{ м}^3;$$

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

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

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

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

де P_x - горизонтальна складова

$$\text{сили тиску } P_x = \rho g h_{cz} \omega_z,$$

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

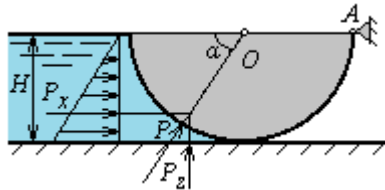


Рис. 3.1. До прикладу 3



Національний університет
водного господарства
та природокористування

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

ω_z - площа вертикальної проекції криволінійної поверхні

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

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

Вертикальна складова сили тиску визначається за

$$P_z = \rho g W_T,$$

де W_T - 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.

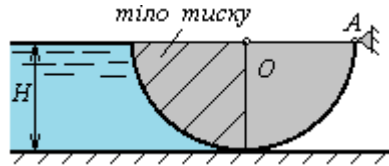


Рис. 3.2. Графічне зображення «тіла тиску»

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

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

Таким чином сила тиску на напівциліндричний затвор становить

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} = \sqrt{28,84^2 + 45,32^2} = 53,72 \text{ кН}.$$

Приклад 5. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі.

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

Розв'язання

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

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

де

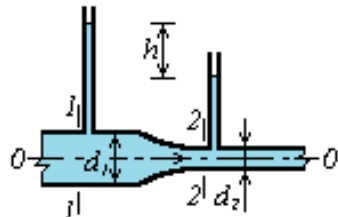


Рис. 4. До прикладу 4



Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$z_1=0 \quad ; \quad h = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \quad ; \quad V_1 \quad ; \quad V_2 \quad ; \quad h_{w_{1-2}} = 0$$

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

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

$$V_1 \frac{\pi d_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi d_2^2}{4}, \quad \text{звідки}$$

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

Приклад 6. Розрахунок коротких трубопроводів.

Визначити висоту розміщення осі пожежного насоса над рівнем води в річці, якщо подача насоса $Q=20 \text{ л/с}$, довжина всмоктувальної лінії $l=12 \text{ м}$, діаметр $d=200 \text{ мм}$ і допустима вакуумметрична висота всмоктування $h_{\text{вак}}=6,5 \text{ м.вод.ст.}$. Побудувати п'єзометричну і напірну лінії. Труби ненові сталеві.

Розв'язання

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

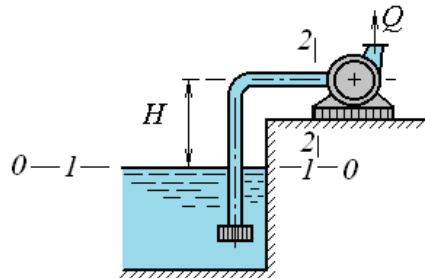


Рис. 5.1. До прикладу 5



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

$$\begin{aligned} \text{де: } z_1 &= 0; & p_1 &= p_{\text{атм}}; & V_1 &= 0; \\ z_2 &= H; & p_2 &= p_{\text{абс}}; & V_2 &= V. \end{aligned}$$

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

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

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

Так, як $p_{\text{атм}} - p_{\text{абс}} = p_{\text{атм}} - (p_{\text{атм}} + p_m) = p_{\text{атм}} - p_{\text{атм}} - p_m = -p_m =$

$$p_{\text{вак}}, \text{ то } \frac{p_{\text{вак}}}{\rho g} = h_{\text{вак}}$$

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

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

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

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

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

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:

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

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначимо за залежністю
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] ;

$$Re = \frac{Vd}{\nu} - \text{число Рейнольдса},$$

де $\nu = 115 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості, 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 відцентровий 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 п'єзометричної і напірної ліній необхідно розрахувати швидкісний напір та втрати напору:

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

$$h_{3,к} = \zeta_{3,к} \cdot \frac{V^2}{2g} = 5,2 \cdot \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,108 \text{ м};$$

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

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

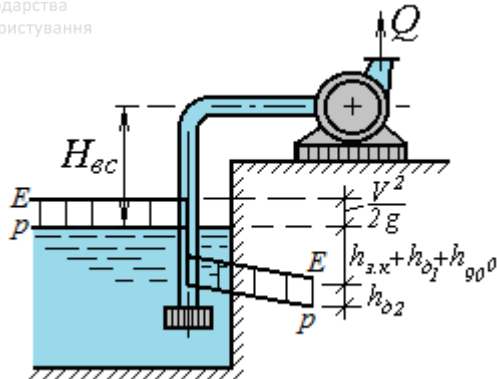


Рис. 5.2. Графічне зображення п'езометричної і напірної ліній

Приклад 7. Розрахунок довгих трубопроводів.

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

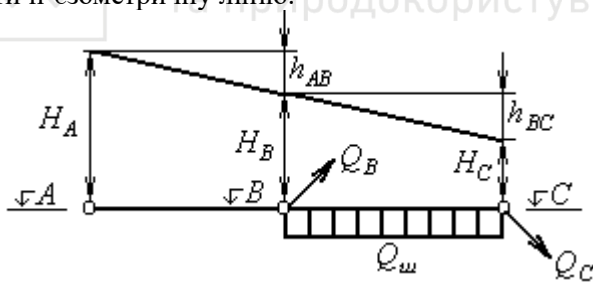


Рис. 6. До прикладу 6

Розв'язання

Визначаємо розрахункову витрату на ділянках трубопроводу за формулою

$$Q_p = Q_m + 0,55Q_{ш}$$

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

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



За табл. 6.16, стор. 74, [5] визначаємо діаметр сталевих труб на ділянках при економічному факторі 0,75:

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

Визначимо середню швидкість потоку на ділянках

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

$$V_{BC} = \frac{4 \cdot 28,25 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,175^2} = 1,18 \text{ м/с} \quad ; \quad V_{AB} = \frac{4 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,3^2} = 0,99 \text{ м/с} .$$

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

$$A_{BC} = 20,8 \text{ с}^2/\text{м}^6 \quad ; \quad A_{AB} = 0,87 \text{ с}^2/\text{м}^6 .$$

Втрати 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

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

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

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

Приклад 8. Розрахунок параметрів пограничного шару

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

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

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

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

Приклад 9. Розрахунок витікання рідин та газів із отворів і сопел

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

Розв'язання

Час через який цистерна повністю спорожниться визначимо за залежністю

$$t = \frac{2W}{Q} = \frac{2W}{\mu\omega\sqrt{2gH}} \quad ,$$

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

$\mu=0,82$ – коефіцієнт витрати зовнішнього циліндричного насадка, згідно [5], стор. 50;

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

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

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

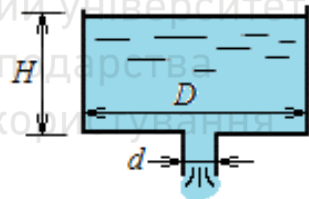


Рис. 7. До прикладу 7



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.
6. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. : “Энергия”, 1972. 452 с.
7. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу: навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2008. 128 с.
8. Константинов Ю. М. Технічна механіка рідини і газу: підручник. К. : Вища школа, 2002. 277 с.
9. Сборник задач по гидравлике / под ред. Большакова В.А. К. : Вища школа, 1988. 336 с.
10. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика. М. : Стройиздат, 1975. 352 с.