

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

01-04-75М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять та самостійної роботи
із навчальної дисципліни
«ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИН ТА ГАЗІВ»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Охорона праці»
спеціальності 263 «Цивільна безпека»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІБА
Протокол № 3 від 19 грудня 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи із навчальної дисципліни «Технічна механіка рідин та газу» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Токар Л. О. – Рівне : НУВГП, 2023. – 17 с.

Укладач: Токар Л. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

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

Керівник освітньої програми: Шаталов О. С., к.с-г.н., доцент.

Зміст

	Стор.
Вступ	3
1. Тематика практичних занять та самостійна робота студентів	4
2. Приклади розв'язку задач	7
Рекомендована література	16
Використана література	17

© Л. О. Токар, 2023

© НУВГП, 2023

Вступ

Методичні вказівки рекомендовані для практичної та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Технічна механіка рідин та газу» для здобувачів першого ступеня «бакалавр», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Охорона праці», спеціальності 263 «Цивільна безпека».

Закони технічної механіки рідин та газів використовуються у різних галузях народного господарства і слугують не лише для покращення умов праці та побуту людини, але й забезпечують технологію багатьох виробництв.

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Технічна механіка рідин та газів» є формування теоретичних знань та практичних вмінь при розв'язанні інженерних задач, які пов'язані зі спокоєм, рівновагою та рухом рідин і газів у напірних руслах. Це дає змогу фахівцям використовувати набуті знання для вирішення професійних задач різної складності.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Технічна механіка рідин та газів» – формування у майбутніх фахівців системи знань про закони спокою та руху рідин і газів та використання цих законів для розв'язання практичних задач.

Цілями вивчення навчальної дисципліни «Технічна механіка рідин та газів» є:

- вивчення та практичне застосування фундаментальних законів руху рідин та газів;
- виконання розрахунків параметрів та гідравлічних елементів живого перерізу потоку у напірних системах при усталеному русі;
- вміння користуватися нормативною і довідковою літературою.

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.

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 силабусом, наведено ключові поняття, теоретичні питання для самоконтролю та рекомендовану літературу для підготовки до практичних занять.

Тема 1. Тиск в точці

Ключові поняття: однорідна рідина, густина, питома вага, тиск, види тиску, вільна поверхня, площина рівного тиску, п'єзометрична площина, площина порівняння, п'єзометр.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Характеристика рідин та їх властивості.
2. Фізичні властивості рідин і газів.
3. Гідростатичний тиск та його властивості.
4. Основні рівняння спокою рідини, їх зміст.
5. Види гідростатичного тиску (абсолютний, манометричний, вакууметричний).
6. Вільна поверхня. Поверхня рівного тиску. П'єзометрична поверхня. Площина порівняння.

Рекомендована література: [1] стор. 9-18; 22-40, [2] стор. 17-23; 27-30, [3] стор. 17-24.

Тема 2. Сила тиску на плоску і криволінійну поверхні

Ключові поняття: сила тиску на плоску поверхню, центр тиску, епюра тиску, сила тиску на криволінійну поверхню, об'єм «тіла тиску», закон Архімеда.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Сила тиску на плоску поверхню.
2. Центр тиску плоскої поверхні.
3. Епюра гідростатичного тиску.
4. Сила тиску на криволінійну (циліндричну) поверхню.

5. Побудова «тіла тиску».
6. Плавання тіл (закон Архімеда).

Рекомендована література: [1] стор. 36-51, [2] стор. 38-47, [3] стор. 24-27.

Тема 3. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі

Ключові поняття: об'ємна витрата, середня швидкість, рівняння Д.Бернуллі та його інтерпретація, умови та техніка використання рівняння Д.Бернуллі, рівняння нерозривності рідини.

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 інтерпретація.
5. Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини та його інтерпретація.

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

Тема 4. Обрахунок режимів руху рідини

Ключові поняття: режим руху, ламінарний режим, турбулентний режим, число Рейнольдса, критичне число Рейнольдса, критична швидкість.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Характеристика режимів руху.
2. Визначення режиму руху для напірних потоків.
3. Визначення режиму руху для безнапірних потоків.

Рекомендована література: [1] стор. 131-134, [2] стор. 87-89, [3] стор. 28-36.

Тема 5. Обрахунок втрат напору

Ключові поняття: місцевий опір, місцеві втрати напору, рівняння Д.Бернуллі та його інтерпретація, умови та техніка використання рівняння Д.Бернуллі, рівняння нерозривності рідини.

Теоретичні питання для самоконтролю:

1. Види опорів та втрат напору.
2. Характеристика місцевих втрат напору.

3. Характеристика втрат напору по довжині.
4. Коефіцієнт гідравлічного тертя.

Рекомендована література: [1] стор. 138-205, [2] стор. 89-112, [3] стор. 28-36.

Тема 6. Розрахунок 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. Розрахунок 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.

2. Приклади розв'язку задач

Приклади розв'язку задач відповідають тематиці практичних завдань.

Приклад 1. Визначення 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

$$p_{m1} = \gamma H - \gamma z \quad , \quad p_{m2} = p_m .$$

Так, як площина порівняння є і площиною рівного тиску, то

$$p_{m1} = p_{m2} \quad ,$$

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

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

Відповідь: $W = 34,84 \text{ м}^3$.

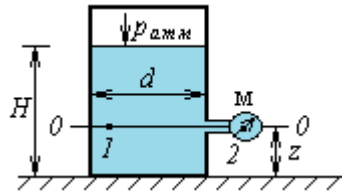


Рис. 1. До прикладу 1

Приклад 2. Визначення сили 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) 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

$$y_\partial = y_c + \frac{I_0}{y_c \omega},$$

де I_0 – момент інерції, який для прямокутної форми щита становить

$$I_0 = \frac{bH^3}{12},$$

$$I_0 = \frac{2,0 \cdot 2,5^3}{12} = 2,60 \text{ м}^4;$$

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

Відповідь: $P = 61,31 \text{ кН}$, $y_\partial = 1,67 \text{ м}.$

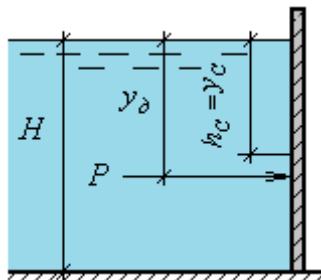


Рис. 2. До прикладу 2

Приклад 3. Визначення сили гідростатичного тиску на 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 сили тиску

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

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

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

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.

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

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

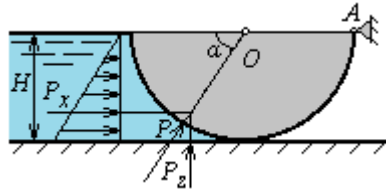


Рис. 3.1. До прикладу 3

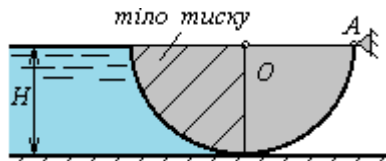


Рис. 3.2. Графічне зображення «тіла тиску»

Таким чином сила тиску на напівциліндричний затвор становить

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

Відповідь: $P = 53,72 \text{ кН}$.

Приклад 4. 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 . Втрати 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

$$\begin{aligned} z_1 &= 0 \\ z_2 &= 0 \end{aligned} \quad ; \quad h = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \quad ; \quad \begin{aligned} V_1 & \\ V_2 & \end{aligned} \quad ; \quad h_{w_{1-2}} = 0$$

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

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

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

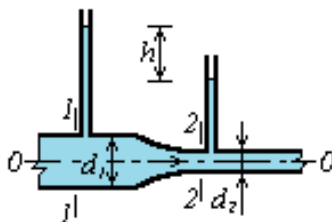


Рис. 4. До прикладу 4

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

Відповідь: $d_1 = 10 \text{ см}$.

Приклад 5. Обрахунок режимів руху рідин.

Визначити режим руху рідини у всмоктувальній лінії насоса, якщо подача насоса $Q=20\text{л/с}$, діаметр всмоктувальної лінії $d=200\text{мм}$

Розв'язання

Для визначення режиму руху рідини обчислимо розрахункове число Рейнольдса для напірних потоків та порівняємо з критичним значенням числа Рейнольдса

$$Re = \frac{Vd}{\nu},$$

де V – середня швидкість

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

$\nu = 115 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості, згідно табл.1.11, стор.11, [5],

$$Re = \frac{0,64 \cdot 0,2}{115 \cdot 10^{-8}} = 111304.$$

Оскільки $Re_{кр} = 2320 < Re = 111304$, то режим руху турбулентний.

Відповідь: режим руху – турбулентний.

Приклад 6. Обрахунок втрат напору. 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 $h_{вак}=6,5\text{м.вод.ст}$. 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

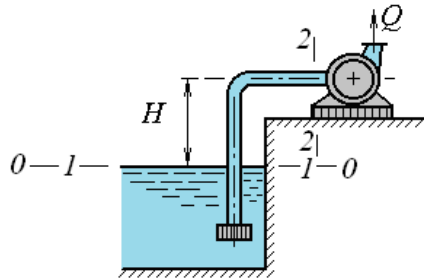


Рис. 6.1. До прикладу 6

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

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

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

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

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

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

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

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

$$h_W = \zeta_{з.к} \cdot \frac{V^2}{2g} + \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} + \zeta_{90^0} \cdot \frac{V^2}{2g},$$

$$h_W = \left(\zeta_{з.к} + \lambda \cdot \frac{l}{d} + \zeta_{90^0} \right) \cdot \frac{V^2}{2g},$$

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

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:

$\zeta_{\text{з.к}} = 5,2$, стор. 42, табл. 4.19, [5];

$\zeta_{90^\circ} = 4,21$, стор. 43, [5].

Коефіцієнт гідравлічного тертя визначимо за залежністю А.Д.Альтшуля

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

$\Delta_e = 0,1 \text{ мм}$ – еквівалентна шорсткість згідно табл.4.1, стор. 36, [5];

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

де $\nu = 115 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості, згідно табл.1.11, стор.11, [5],

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

$$H = 6,5 - \frac{0,64^2}{2 \cdot 9,81} \left(1 + 5,2 + 0,0201 \cdot \frac{12}{0,2} + 4,21 \right) = 6,32 \text{ м}$$

Для побудови п'єзометричної і напірної ліній необхідно розрахувати швидкісний напір та втрати напору:

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

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

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

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

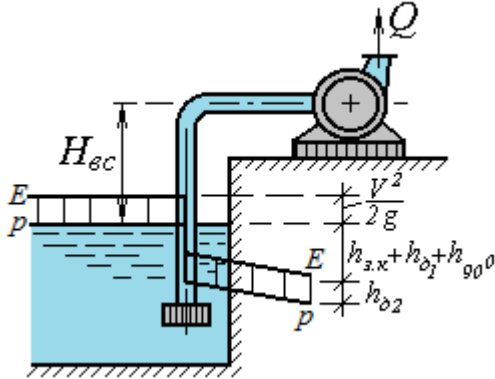


Рис. 6.2. Графічне зображення п'єзометричної і напірної ліній
Відповідь: $H = 6,32 \text{ м}$.

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 $\nabla A=88 \text{ м}$; $\nabla B=87 \text{ м}$; $\nabla C=85 \text{ м}$. Труби сталеві ненові. Побудувати п'єзометричну лінію.

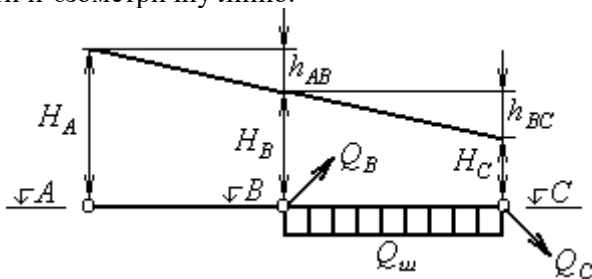


Рис. 7. До прикладу 7

Розв'язання

Визначаємо розрахункову витрату на ділянках трубопроводу за формулою

$$Q_p = Q_m + 0,55Q_{ui}$$

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

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

За табл. 6.13, стор. 60, [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

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

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

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

За табл. 6.2, стор. 54, [5] визначаємо величини питомих опорів ділянок трубопроводу

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

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

Втрати напорів 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

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

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

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

Відповідь: $d_{AB} = 300 \text{ мм}$, $d_{BC} = 175 \text{ мм}$, $H_A = 20,33 \text{ м}$, $H_B = 19,14 \text{ м}$.

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. 431 с.
3. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Гідрогазодинаміка. Рівне : НУВГП, 2007. 118 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1833/>. (дата звернення: 17.12.2023).
4. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу : навч. посіб., Рівне : НУВГП, 2008. 128 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5602/>. (дата звернення: 17.12.2023).
5. Довідник з гідравліки / під ред. Большакова В. А. URL: <http://www.cawater-info.net/library/rus/hist/bolshakov/index.htm>. (дата звернення: 17.12.2023).
6. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
7. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу в тестах і задачах. Рівне : НУВГП, 2015. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4033/>. (дата звернення: 17.12.2023).
8. Константінов Ю. М. Технічна механіка рідини і газу : підручник. К. : Вища школа, 2002. 277 с.

Використана література

1. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне : НУВГП, 2009. 376 с.
2. Науменко І. І., Токар О. І., Токар Л. О. Гідрогазодинаміка. Рівне : НУВГП, 2007. 118 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/1833/>. (дата звернення: 17.12.2023).
3. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу : навч. посіб., Рівне : НУВГП, 2008, 128 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5602/>. (дата звернення: 17.12.2023).
4. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу в тестах і задачах. Рівне : НУВГП, 2015. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4033/>. (дата звернення: 17.12.2023).
5. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Гідрогазодинаміка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання./ Л. О. Токар, Л. Р. Волк Рівне : НУВГП, 2023. 16 с. 01-04-68М. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/26373> (дата звернення: 17.12.2023).