



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

01-04-105

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до вивчення, практичної та самостійної робіт
із навчальної дисципліни

«ГІДРАВЛІКА»,

розділ «НАПІРНІ ПОТОКИ»

для здобувачів вищої освіти
першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю
194 «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
комісією зі спеціальності
194 «Гідротехнічне будівництво, водна
інженерія та водні технології»
Протокол № 7 від 28 травня 2019 року

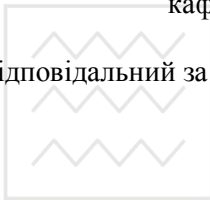
Рівне – 2019



Методичні вказівки до вивчення, практичної та самостійної робіт із навчальної дисципліни «Гідравліка», розділ «Напірні потоки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної та заочної форм навчання / Токар Л. О., Токар О. І., Поташник С. І., Ясінська Л. Р. – Рівне : НУВГП, 2019. – 20 с.

Укладачі: Токар Л. О., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;
Токар О. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;
Поташник С. І., кандидат технічних наук, професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;
Ясінська Л. Р., кандидат технічних наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки;

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



Зміст

	Стор.
Вступ	3
1. Програма навчальної дисципліни	4
2. Тематика практичних занять	7
3. Приклади розв'язку задач	8
Рекомендована література	20

© Токар Л. О., Токар О. І.,
Поташник С. І., Ясінська Л. Р., 2019
© НУВГП, 2019



Вступ

Переважна більшість технічних систем та технологічних процесів практично у будь-якій галузі сучасного виробництва в тій або іншій мірі пов'язані з використанням рідин або газів. Особливо це стосується таких галузей, як водного господарства та будівництва. 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 «Гідравліка» – 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 «Гідравліка» є засвоєння студентами основних теоретичних понять та фундаментальних законів рівноваги і руху рідини та газу для проектування технічних систем і їх елементів.

Практична, лабораторна і самостійна робота студентів є необхідною складовою частиною засвоєння навчального матеріалу по дисципліні, яка передбачає:

- вивчення лекційного матеріалу і рекомендованої літератури;
- підготовку до практичних і лабораторних занять по дисципліні;
- виконання практичних та лабораторних завдань.

Підготовка до лабораторних робіт студентами здійснюється за допомогою методичних вказівок до виконання лабораторних робіт [1].

В першому розділі методичних вказівок наведено програму навчальної дисципліни «Гідравліка» розділ «Напірні потоки», питання до самостійної роботи студентів та рекомендовану базову літературу до вивчення курсу.

Другий розділ методичних вказівок містить тематику практичних занять та рекомендовану літературу для самостійної підготовки до практичного заняття.

В третьому розділі приведено приклади розв'язку задач згідно тематики практичних занять.



1. Програма навчальної дисципліни «Гідравліка», розділ «Напірні потоки»

Тема 1. Вступ у навчальну дисципліну «Гідравліка»

Технічна механіка рідини і газу як наука. Короткий історичний огляд її розвитку. Значення «Гідравліки» в народному господарстві.

Визначення рідин та газів. Реальні та ідеальні рідини. Основні фізичні властивості рідин і газів: густина, стисливість, розширення, текучість, в'язкість. Розчинення газів у рідинах. Кипіння. Кавітація.

Самостійна робота

1. Історичний огляд розвитку навчальної дисципліни «Гідравліка».
2. Розчинення газів у рідинах. Кипіння. Кавітація.

Рекомендована література: [2] стор. 4-22, [3] стор. 11-24.

Тема 2. Статика рідин і газів

Предмет статички рідин і газів. Сили, що діють на рідини і гази. Гідростатичний тиск та його властивості. Тензор напружень. Диференційні рівняння спокою рідин (рівняння Ейлера).

Основне рівняння гідростатики і його геометрична та фізична інтерпретації. Різновиди гідростатичного тиску. Поверхні і лінії рівного тиску. Прізометрична площина і площина порівняння. Рівновага рідин в сполучених посудинах. Прилади для визначення тиску.

Сила тиску рідин і газів на плоскі поверхні. Центр тиску та його координати. Епюри і призми гідростатичного тиску. Закон Паска ля. Принцип дії простих гідравлічних машин.

Сила гідростатичного тиску на криволінійні поверхні. Центр тиску на циліндричні поверхні. «Тіло тиску». Плавання тіл, закон Архімеда.

Самостійна робота

1. Властивості гідростатичного тиску.
2. Епюри і призми гідростатичного тиску.

Рекомендована література: [2] стор. 22-69, [3] стор. 24-53.

Тема 3. Гідродинаміка рідини і газів

Предмет гідродинаміки. Методи вивчення руху рідин і газів (Легранжа, Ейлера). Види руху рідин і газів. Модель ідеальної (невязної) рідини. Струминкова модель руху рідини. Параметри потоку. Гідравлічні елементи живого перерізу потоку.



Рівняння нерозривності (суцільності) руху рідин і газів за одномірною моделлю. Рівняння Д.Бернуллі для елементарної струминки ідеальної рідини, його геометрична, механічна та фізична інтерпретації.

Рівняння Д.Бернуллі для елементарної струминки реальної (в'язкої) рідини, його геометрична, механічна та фізична інтерпретації. Рівняння Д.Бернуллі для потоку реальної (в'язкої) рідини. Поняття про п'єзометричний і гідравлічний похили. Умови і техніка використання рівняння Д.Бернуллі для розв'язання інженерних задач.

Режими руху рідини. Число Рейнольдса, його критичні значення, фізичний зміст.

Самостійна робота

1. Кількість руху та кінетична енергія в живих перерізах потоку в'язкої рідини.
2. Рівняння Нав'є-Стокса.

Рекомендована література: [2] стор. 69-120, [3] стор. 54-88.

Змістовий модуль 2. Види руху рідини і газів в напірних і безнапірних системах

Тема 4. Гідравлічні опори. Втрати напору при усталеному русі рідин і газів

Гідравлічні опори, їх фізична природа і класифікація. Втрати напору та їх види. Модель турбулентного потоку в трубах. Основне рівняння рівномірного руху. Пристінний ламінарний і турбулентний шар. Гідравлічно гладкі та гідравлічно шорсткі поверхні. Миттєві і осереднені швидкості, швидкість пульсації.

Розподіл осереднених швидкостей і дотичних напружень у живих перерізах турбулентного потоку. Формула Дарсі-Вейсбаха. Експериментальні дослідження гідравлічного коефіцієнта тертя. Досліди Нікурадзе, Зегжда, Муріна, Шевельова, Кольбрука-Уайта. Сучасні залежності для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя. Місцеві гідравлічні опори, формула Вейсбаха.

Самостійна робота

1. Пристінний ламінарний і турбулентний шар.
2. Миттєві і осереднені швидкості, швидкість пульсації.

Рекомендована література: [2] стор. 131-205, [3] стор. 88-118.



Тема 5. Усталений рух рідини і газів в напірних трубопроводах

Поняття короткого і довгого трубопроводу, їх класифікація. Розрахунок коротких трубопроводів. Основні типи задач розрахунку коротких трубопроводів. Коефіцієнт гідравлічного опору системи та витрати. Приклади розрахунків коротких трубопроводів

Основні залежності для розрахунку довгих трубопроводів. Трубопроводи зі змінними витратами уздовж трубопроводів. Розподільчі трубопроводи збирачі.

Розподільчі (тупикові) водопровідні мережі, їх розрахунок. Основи розрахунку кільцевих водопровідних мереж.

Самостійна робота

1. Розподільчі трубопроводи збирачі.
2. Основи розрахунку кільцевих водопровідних мереж.

Рекомендована література: [2] стор. 215-280, [3] стор. 137-154.

Тема 6. Усталений рух рідини і газів при витіканні через отвори і насадки

Використання отворів і насадків в технічних системах. Поняття малого та великого отвору. Пропускна здатність малих отворів при витіканні рідини в газове середовище та рідини в рідину. Класифікація насадків. Пропускна здатність насадків при витіканні рідини в газове середовище та рідини в рідину. Вакуум у насадках. Коефіцієнт витрати отворів та насадків. Коефіцієнт швидкості і опору насадка Вентурі.

Самостійна робота

1. Коефіцієнт швидкості і опору насадка Вентурі.
2. Вакуум у зовнішньому циліндричному насадку.

Рекомендована література: [2] стор. 297-312, [3] стор. 118-125.

Тема 7. Неусталений рух рідини в напірних системах

Витікання рідини із отворів, насадків та коротких труб в атмосферу при змінному напорі, за наявності і відсутності постійного притоку. Витікання рідини при змінному напорі під змінний рівень. Гідравлічний удар в трубопроводах. Формула М.Є. Жуковського. Швидкість поширення ударної хвилі. Повний і



неповний гідравлічний удар. Методи попередження гідравлічного удару. Гідравлічний таран.

Самостійна робота

1. Витікання рідини при змінному напорі під змінний рівень..
2. Гідравлічний таран.

Рекомендована література: [2] стор. 326-350, [3] стор. 125-131; 154-168.

2. Тематика практичних занять

До тем практичних занять передбачених робочою програмою наведено рекомендовану літературу для самостійної підготовки до заняття.

Тема 1. Визначення гідростатичного тиску в точці рідини.

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

Тема 2. Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епюр гідростатичного тиску.

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

Тема 3. Визначення сили гідростатичного тиску на криволінійну поверхню. Побудова «тіла тиску». Плавання тіл.

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

Тема 4. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі.

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

Тема 5. Розрахунок коротких трубопроводів.

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

Тема 6. Розрахунок довгих трубопроводів.

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

Тема 7. Витікання із отворів і насадків.

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

Тема 8. Розрахунок розподільчих (тупикових) водопровідних мереж

Рекомендована література: [2] стор. 253-258, [3] стор. 151-153.



3. Приклади розв'язку задач

Приклади розв'язку задач відповідають тематиці практичних завдань.

Приклад 1. 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 $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$,

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

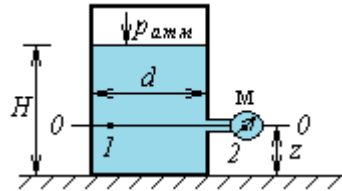


Рис. 1. До прикладу 1

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

$$p_{m1} = p_{m2}, \quad \text{тобто} \quad \gamma H - \gamma z = p_m, \quad \text{звідки}$$

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

Отже об'єм води циліндричного резервуару становить $W = 7,11 \cdot 4,90 = 34,84 \text{ м}^3$.

Приклад 2. Визначення сили гідростатичного тиску на плоску поверхню. Побудова епюру гідростатичного тиску.

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

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

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

I_0 – момент інерції, який для прямокутної форми щита становить

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

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

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

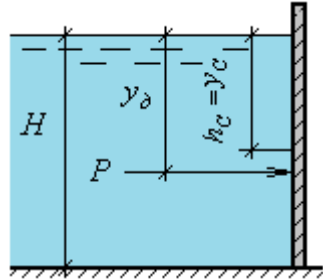


Рис. 2. До прикладу 2

Приклад 3. 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

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.

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

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

Таким чином сила тиску на напівциліндричний затвор становить

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

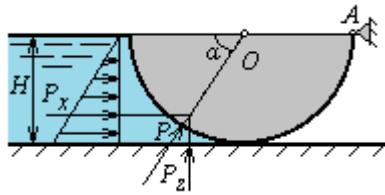


Рис. 3.1. До прикладу 3

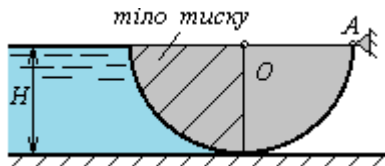


Рис. 3.2. Графічне зображення «тіла тиску»

Приклад 4. Розв'язання рівняння Д. Бернуллі.

Вздвож трубопроводу, який має звуження, рухається потік води витратою $Q=9л/с$, різниця показів п'єзометрів $h=1,0м$, діаметр звуженої частини трубопроводу $d_2=5см$. 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

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

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

$$h + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

Розрахуємо середню швидкість руху потоку у 2 перерізі

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

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

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

З умови нерозривності потоку $\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2$ слідує, що

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

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

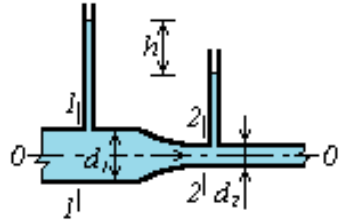


Рис. 4. До прикладу 4

Приклад 5. 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

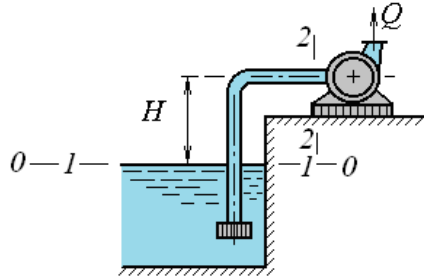


Рис. 5.1. До прикладу 5

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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:

$$\zeta_{з.к} = 5,2, \text{ стор. 45, табл. 4.16, [5];}$$

$$\zeta_{90^\circ} = 1,19, \text{ стор. 46, [5];}$$

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.1.9, 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

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

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

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



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

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

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

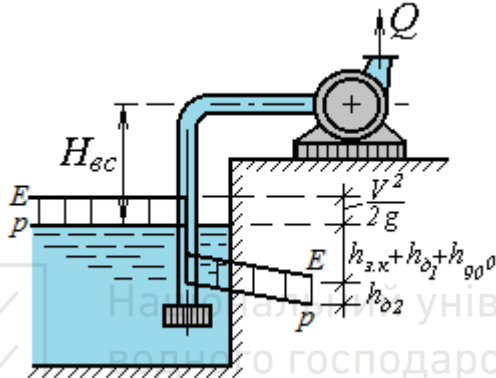


Рис. 5.2. Графічне зображення п'єзометричної і напірної ліній

Приклад 6. Розрахунок довгих трубопроводів.

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 C буде напір $H_C=15 м$. Довжини ділянок $l_{AB}=280 м$; $l_{BC}=250 м$ та відмітки у вузлах $\sqrt{A}=88 м$; $\sqrt{B}=87 м$; $\sqrt{C}=85 м$. Труби сталі ненові. Побудувати п'єзометричну лінію.

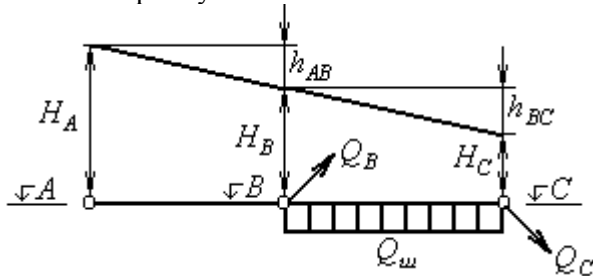


Рис. 6. До прикладу 6



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. 6.16, 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

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

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

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 7. Витікання із отворів і насадків.

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

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

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

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

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

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

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

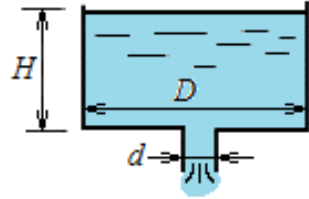


Рис. 7. До прикладу 7

Приклад 8. Розрахунок розподільчих (тупикових) водопровідних мереж.

Згідно схеми тупикової водопровідної мережі визначити діаметри труб на ділянках магістралі і відгалуженнях, відмітки п'єзометричної лінії у вузлових точках мережі. Довжина ділянок розраховується згідно $l=180\text{м}$, витрата $Q_B = 10 \text{ л/с}$, вільний напір $h_0=9\text{м}$, матеріал труб – асбестоцемент. Побудувати п'єзометричну лінію.

Розв'язання.

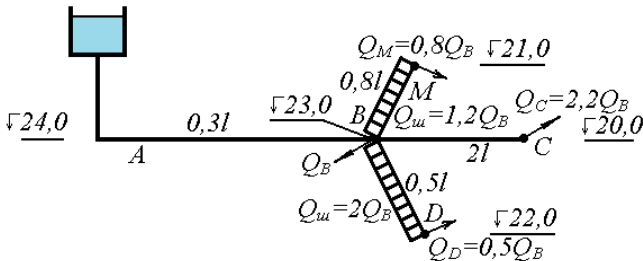


Рис. 8.1. До прикладу 8



В даній водопровідній мережі послідовне з'єднання труб ABD є магістраллю, а BM і BC – відгалуження.

Послідовність розрахунку магістралі

Розрахунок ділянки BD :

1. Визначаємо розрахункову витрату на ділянці за формулою
 $Q_p = Q_m + 0,55Q_{ш} = 0,5Q_B + 0,55 \cdot 2Q_B = 0,5 \cdot 10 + 0,55 \cdot 2 \cdot 10 = 16,0 \text{ л/с.}$
2. За табл. 6.17, стор. 74, [5] визначаємо діаметр труб на ділянці BD
 $d_{BD} = 200 \text{ мм.}$

3. Визначимо середню швидкість потоку на ділянці

$$V = \frac{Q_p}{\omega} = \frac{4Q_p}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,016}{3,14 \cdot 0,2^2} = 0,51 \text{ м/с.}$$

4. За табл. 6.8, стор. 68, [1] визначаємо величину питомого опору
 $A_{BD} = 6,32 \text{ с}^2/\text{м}^6.$

5. Втрати напору на ділянці визначаємо за залежністю

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

$$H_{BD} = A_{BD} \cdot l_{BD} \cdot Q_{BD}^2 = 6,32 \cdot 90 \cdot 0,016^2 = 0,15 \text{ м.}$$

6. Відмітки п'єзометричної лінії у вузлах

$$\sqrt{D}' = \sqrt{D} + h_g = 22 + 9 = 31,0 \text{ м}$$

$$\sqrt{B}' = \sqrt{D}' + H_{BD} = 31,0 + 0,15 = 31,15 \text{ м}$$

Подальший розрахунок ділянок магістралі зведено в таблицю

Ву- зол	l , м	Витрати, л/с			d , мм	ω , м^2	V , м/с	A , $\text{с}^2/\text{м}^6$	H , м	\sqrt{V} , м	\sqrt{V}' , м
		Q_m	$Q_{ш}$	Q_p							
A										24	31,35
	90	77	0	77	350	0,0962	0,80	0,375	0,20		
B										23	31,15
	90	5	20	16	200	0,0314	0,51	6,32	0,15		
D										22	31,00

Розрахунок відгалужень BM і BC :

1. Визначаємо розрахункові витрати на ділянках

$$Q_p^{BM} = Q_m + 0,55Q_{ш} = 0,8Q_B + 0,55 \cdot 1,2Q_B = 0,8 \cdot 10 + 0,55 \cdot 1,2 \cdot 10 = 14,6 \text{ л/с;}$$

$$Q_p^{BC} = Q_m + 0,55Q_{ш} = 2,2 \cdot 10 = 22,00 \text{ л/с.}$$

2. Відмітка п'єзометричної лінії у кінцевих вузлах

$$\sqrt{M}' = \sqrt{M} + h_g = 21 + 9 = 30,0 \text{ м;}$$

$$\sqrt{C}' = \sqrt{C} + h_g = 20 + 9 = 29,0 \text{ м.}$$

3. Допустимі втрати напору на відгалуженнях

$$H_{BM} = \sqrt{B'} - \sqrt{M'} = 31,15 - 30,0 = 1,15 \text{ м};$$

$$H_{BC} = \sqrt{B'} - \sqrt{C'} = 31,15 - 29,0 = 2,15 \text{ м}.$$

4. Питомий опір трубопроводу відгалужень

$$A_{BM} = \frac{H_{BM}}{l_{BM} \cdot Q_{BM}^2} = \frac{1,15}{144 \cdot 0,0146^2} = 37,3 \text{ с}^2 / \text{м}^6;$$

$$A_{BC} = \frac{H_{BC}}{l_{BC} \cdot Q_{BC}^2} = \frac{2,15}{360 \cdot 0,022^2} = 12,3 \text{ с}^2 / \text{м}^6.$$

5. За табл. 6.17, стор. 74, [5] визначаємо діаметр труб відгалужень

$$d_{BM} = 150 \text{ мм}, \quad \text{тоді}$$

$$V = \frac{4Q_p}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0146}{3,14 \cdot 0,15^2} = 0,83 \text{ м/с};$$

$$d_{BC} = 200 \text{ мм}, \quad \text{тоді}$$

$$V = \frac{4Q_p}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,022}{3,14 \cdot 0,2^2} = 0,70 \text{ м/с}.$$

6. Уточнимо питомий опір трубопроводу відгалужень

$$A_{BM} = 27,01 \text{ с}^2/\text{м}^6; \quad A_{BC} = 6,07 \text{ с}^2/\text{м}^6.$$

7. Втрати напору на відгалуженнях

$$H_{BM} = A_{BM} \cdot l_{BM} \cdot Q_{BM}^2 = 27,01 \cdot 144 \cdot 0,0146^2 = 0,83 \text{ м};$$

$$H_{BC} = A_{BC} \cdot l_{BC} \cdot Q_{BC}^2 = 6,07 \cdot 360 \cdot 0,022^2 = 1,06 \text{ м}.$$

8. Відмітка п'єзометричної лінії у кінцевих вузлах

$$\sqrt{M'} = \sqrt{B'} - H_{BM} = 31,15 - 0,83 = 30,32 \text{ м};$$

$$\sqrt{C'} = \sqrt{B'} - H_{BC} = 31,15 - 1,06 = 30,09 \text{ м}.$$

Побудова п'єзометричної лінії наведена на рисунку 8.2.



Національний університет
водних ресурсів та природокористування

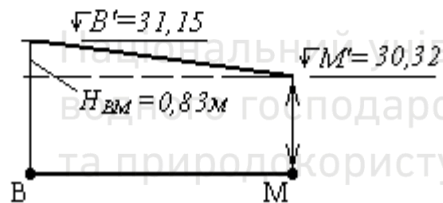
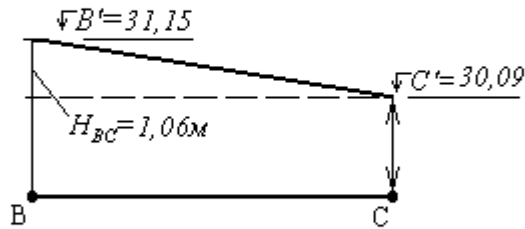
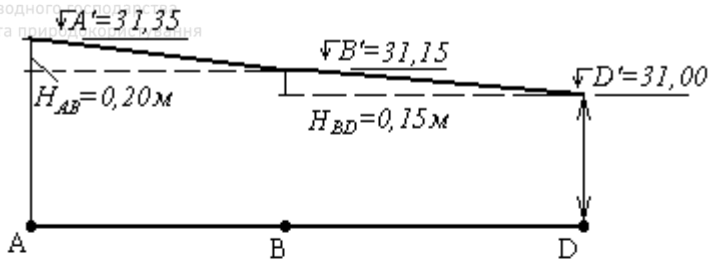


Рис. 8.2. Графічне зображення побудови п'єзометричних ліній тупикової водопровідної мережі



Рекомендована література

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Технічна механіка рідину і газу» для студентів напрямів підготовки: 6.060103 «Гідротехніка» (водні ресурси), 6.060101 «Будівництво», 6.170202 «Охорона праці» денної та заочної форм навчання / Кравчук Р. М., Токар Л. О. Рівне : НУВГП, 2012. 52 с. (083-1).
2. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне : НУВГП, 2009. 376 с.
3. Рогалевич Ю. П. Гідравліка : підручник. К. : Вища школа, 2010. 431 с.
4. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
5. Справочник по гидравлике / под ред. Большаков 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. Большаков В. А. К. : Вища школа, 1988. 336 с.
10. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика. М. : Стройиздат, 1975. 352 с.