



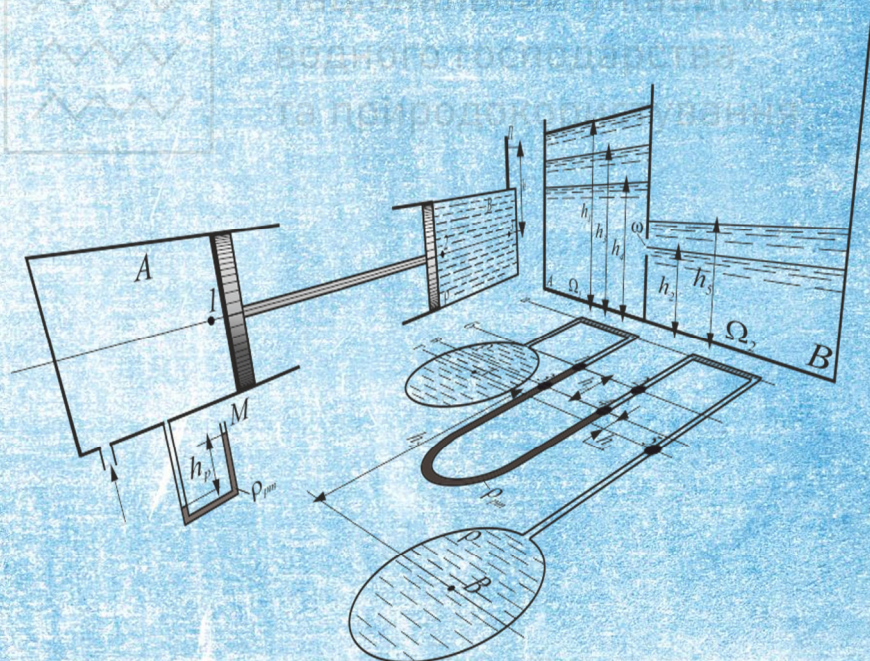
Національний технічний
університет України
«Київський політехнічний
національний університет»

В.В. Луценко

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ В ТЕСТАХ І ЗАДАЧАХ



Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
національний університет»





Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування

В.В. Луценко

**ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА
РІДИНИ І ГАЗУ
В ТЕСТАХ І ЗАДАЧАХ**

Навчальний посібник

Рівне – 2015



Національний університет

водного господарства та природокористування

УДК 532.5(075.8)

ББК 30.123я7

Л87

*Затверджено вченою радою Національного університету
водного господарства та природокористування.
(Протокол № 4 від 30 березня 2015 р.)*

Рецензенти:

Рокочинський А.М., доктор технічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне;

Кравчук Р.М., кандидат технічних наук, доцент Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

Луценко В.В.

Л87 Технічна механіка рідини і газу в тестах і задачах. Навчальний посібник. – Рівне : НУВГП, 2015. – 194 с.

Посібник підготовлено відповідно до чинної програми дисципліни „Технічна механіка рідини і газу”. У посібнику подано коротку теоретичну частину до розділів дисципліни, запропоновано питання-тести для перевірки знань теоретичного матеріалу та типові задачі, хід розв’язання яких надано також у вигляді тестів.

Посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки „Гідротехніка (водні ресурси)” і „Будівництво”.

УДК 532.5(075.8)

ББК 30.123я7

© Луценко В.В., 2015

© НУВГП, 2015



ПЕРЕДМОВА

Запропонований навчальний посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів спеціальностей, які навчаються за напрямками „Гідротехніка (водні ресурси)” і „Будівництво” Міністерства освіти і науки України.

У посібнику подано коротку теоретичну частину до розділів нормативної дисципліни „Технічна механіка рідини і газу”. Це гідростатика, гідродинаміка, гідравлічні опори, розрахунки трубопроводів, розрахунки отворів і насадків, неусталений рух рідини в напірних системах. Також запропоновано питання-тести для перевірки знань теоретичного матеріалу та типові задачі, хід розв’язання яких надається також у вигляді тестів.

Посібник відповідає програмам дисципліни „Технічна механіка рідини і газу”, розробленим відповідно до освітньо-професійних програм Міністерства освіти і науки України для підготовки бакалаврів за вказаними напрямками.

Навчальний посібник призначений для студентів, що вивчають „Технічну механіку рідини і газу”, також може бути використаний викладачами при контрольному опитуванні студентів з дисципліни і студентами старших курсів, як джерело для відновлення у пам’яті різних гідравлічних закономірностей, необхідність у використанні яких може виникнути при виконанні самостійної роботи з меліорації, водопостачання, водовідведення, гідротехнічних споруд, гідроенергетики.



Поняття рідини. Основні фізичні властивості рідини. Сили, що діють на рідину

Об'єктами вивчення у дисципліні „Технічна механіка рідини і газу” є рідина.

Рідиною називають суцільне середовище, яке здатне змінювати свій об'єм під дією різних сил, і має текучість, завдяки якій приймає форму посудини, в якій знаходиться. Розрізняють мало стисливі рідини – це краплинні рідини (вода, нафта та інші), та стисливі рідини (повітря та інші гази). Рідини бувають з однорідним розподілом маси по об'єму і неоднорідні рідини.

До основних фізичних характеристик краплинних рідин належать: *густина* – маса одиниці об'єму рідини, *питома вага* – вага одиниці об'єму рідини, *стисливість* – властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску, *об'ємне розширення* – властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні температури, *в'язкість* – властивість рідини чинити опір переміщенню одного шару рідини по іншому.

Існує поняття про реальну та ідеальну рідини. *Реальними рідинами* є такі, що мають в'язкість і за певних умов розширюються та стискаються. *Ідеальною рідиною* називають умовну рідину, яка не має в'язкості, не стискається і не розширюється. Модель ідеальної рідини використовується при розв'язуванні деяких технічних задач, коли урахування властивостей реальної, в'язкої рідини є неможливим.

Сили, які діють на рідину, можна розділити на *внутрішні* – сили взаємодії між частинками рідини, та *зовнішні* – сили, прикладені до частинок об'єму рідини з боку інших тіл. Зовнішні сили поділяються на *масові сили*, що діють на всі частинки об'єму рідини і їх величина пропорційна масі рідини (у випадку рідини постійної густини величина сил пропорційна об'єму рідини, і їх ще називають об'ємними силами), та на *поверхневі сили*, які діють по поверхні об'єму рідини, що розглядається.



1. Найбільш вживане позначення густини рідини:

- а) ρ ; б) γ ; в) Q ; г) m ; д) G .

2. Густина – це:

- а) відношення ваги рідини G до її об'єму V ;
б) відношення маси рідини m до її об'єму V ;
в) відношення об'єму рідини V до часу її витікання t ;
г) відношення сили P , що діє на рідину, до площі дії

сили ω .

3. Вираз для визначення густини рідини:

- а) $\frac{m}{V}$; б) $\frac{G}{V}$; в) $\frac{V}{t}$; г) $\frac{P}{\omega}$.

4. Розмірність густини:

- а) $\frac{m^3}{c}$; б) $\frac{kg}{m^3}$; в) $\frac{H}{m^3}$; г) $\frac{kgm}{c^2}$; д) $\frac{H}{m^2}$.

5. Найбільш вживане позначення питомої ваги рідини:

- а) ρ ; б) γ ; в) Q ; г) m ; д) G .

6. Питома вага – це:

- а) відношення ваги рідини G до її об'єму V ;
б) відношення маси рідини m до її об'єму V ;
в) відношення об'єму рідини V до часу її витікання t ;
г) відношення сили P , що діє на рідину, до площі дії

сили ω .

7. Вираз для визначення питомої ваги рідини:

- а) $\frac{m}{V}$; б) $\frac{G}{V}$; в) $\frac{V}{t}$; г) $\frac{P}{\omega}$.



8. Густина рідини $750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Її питома вага дорівнює:

- а) $3680 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; б) $7360 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; в) $11040 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; г) $14720 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$.

9. Питома вага рідини $8830 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$. Її густина дорівнює:

- а) $13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; б) $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; в) $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; г) $750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

10. Розмірність питомої ваги:

- а) $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$; б) $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; в) $\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; г) $\frac{\text{кгм}}{\text{с}^2}$; д) $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

11. Стисливість – це:

- а) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску;
б) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні температури;
в) властивість рідини відновлювати свій об'єм після припинення дії зовнішніх сил;
г) властивість рідини чинити опір переміщенню одного її шару по іншому.

12. Температурне розширення – це:

- а) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску;
б) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні температури;
в) властивість рідини відновлювати свій об'єм після припинення дії зовнішніх сил;
г) властивість рідини чинити опір переміщенню одного її шару по іншому.



13. Пружність рідини – це:

- а) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску;
- б) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні температури;
- в) властивість рідини відновлювати свій об'єм після припинення дії зовнішніх сил;
- г) властивість рідини чинити опір переміщенню одного її шару по іншому.

14. В'язкість рідини – це:

- а) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні тиску;
- б) властивість рідини змінювати свій об'єм при зміні температури;
- в) властивість рідини відновлювати свій об'єм після припинення дії зовнішніх сил;
- г) властивість рідини чинити опір переміщенню одного її шару по іншому.

15. „Ідеальна” рідина – це рідина, що:

- а) позбавлена в'язкості, не стискається і не розширюється;
- б) має в'язкість і стискається;
- в) має в'язкість, але не стискається.

16. Внутрішні сили, які діють на рідину – це:

- а) сили взаємодії між частинками рідини;
- б) сили, прикладені до частинок об'єму рідини з боку інших тіл;
- в) сили, що діють на всі частинки об'єму рідини;
- г) сили, прикладені до поверхні об'єму рідини.

17. До масових (об'ємних) сил належить:

- а) сила молекулярної взаємодії між частинками рідини;



- б) сила інерції;
- в) сила тиску;
- г) сила тертя.

18. До поверхневих сил, які діють на рідину, належить:
- а) сила молекулярної взаємодії між частинками рідини;
 - б) сила інерції;
 - в) сила тиску.

Розділ 1. Гідростатичний тиск

Гідростатичний тиск – одне з головних понять *гідростатики* – розділу механіки рідини, в якому вивчаються закони рівноваги рідини і методи використання цих законів для розв’язування практичних задач.

Гідростатичним тиском у точці p називають границю відношення нормальної стискаючої поверхневої сили ΔP до елементарної площі $\Delta \omega$ площадки, яка містить дану точку, за умови, що $\Delta \omega$ прямує до нуля. У практичних розрахунках використовують значення середнього гідростатичного тиску

$$p = \frac{P}{\omega}, \text{ де } P - \text{нормальна сила, що діє на площу } \omega.$$

У системі СІ одиницями виміру тиску є паскаль (Па), кілопаскаль (кПа), мегапаскаль (МПа). Паскаль – тиск, спричинений силою 1Н , рівномірно розподіленою по поверхні, площею 1 м^2 .

В техніці для виміру тиску використовують також технічну атмосферу (*атм*):

$$1 \text{ атм} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \text{ Н/см}^2 = 98100 \text{ Па} = 98,1 \text{ кПа}.$$

Властивості гідростатичного тиску:

– гідростатичний тиск, що діє на площадку рідини, напрямлений по внутрішній нормалі до площадки дії;



– величина гідростатичного тиску у будь-якій точці рідини не залежить від орієнтації площадки, що містить дану точку.

При розв'язуванні практичних задач і при вимірюванні гідростатичного тиску розрізняють такі його види:

абсолютний (або повний) тиск, який обчислений з урахуванням атмосферного тиску – $P_{абс}$;

манометричний (або надлишковий) тиск – перевищення абсолютного тиску над атмосферним – $p_{ман}$ ($p_{ман} = P_{абс} - P_{атм}$);

вакуумметричний тиск (або вакуум) – недостача абсолютного тиску до атмосферного – $p_{вак}$ ($p_{вак} = P_{атм} - P_{абс}$).

Величина тиску (p) у довільній точці рідини, що знаходиться у стані спокою під дією поверхневих сил та сил тяжіння дорівнює тиску на вільній поверхні (p_0) і вагового тиску (ρgh), де h – глибина занурення точки під вільну поверхню:

$$p = p_0 + \rho gh.$$

Наведене рівняння є *основним рівнянням гідростатики*, яке можна записати і у такому вигляді:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g},$$

де – z_1 і z_2 – *геометричні висоти* – вертикальні віддалі точок 1 та 2 у рідині від довільної горизонтальної поверхні (площини порівняння); p_1 і p_2 – гідростатичні тиски у цих точках.

Основне рівняння гідростатики пояснює закон Паскаля: тиск, що виникає у довільній точці рідини без порушення її рівноваги, передається у інші точки рідини.

Поверхні рідини з однаковим тиском називають *поверхнями рівного тиску*. У випадку рівноваги рідини під дією поверхневих сил і сили тяжіння поверхні рівного тиску є горизонтальними.



Поверхню (площину) рідини, у всіх точках якої манометричний тиск дорівнює нулю (абсолютний тиск дорівнює атмосферному), називають *п'єзометричною поверхнею (площиною)*.

Складова $\frac{P}{\rho g}$ має розмірність довжини, що дозволяє представити гідростатичний тиск висотою (відрізком) певної величини. В зв'язку з цим розрізняють *зведену висоту*

($h_{зв} = \frac{P_{абс}}{\rho g}$), *п'єзометричну висоту* ($h_n = \frac{P_{ман}}{\rho g}$), *вакуум-*

метричну висоту ($P_{вак} = \frac{P_{вак}}{\rho g}$).

Суму $z + \frac{P_{ман}}{\rho g}$ називають *п'єзометричним напором*.

Суму $z + \frac{P_{абс}}{\rho g}$ називають *повним гідростатичним (потен-*

ціальним) напором.

Для всіх точок рідини величина повного гідростатичного напору, як і п'єзометричного напору, є однаковою.

Графічне зображення розподілу гідростатичного тиску рідини по поверхні стінки, яка змочується рідиною, називають *епюрою* гідростатичного тиску; для побудови епюри тиску використовується основне рівняння гідростатики.

1–1. Математичний вираз терміну „гідростатичний тиск у точці”:

$$\text{а) } p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \left(\frac{P}{\omega} \right); \quad \text{б) } p = p_0 + \rho gh;$$

$$\text{в) } p = \rho gh; \quad \text{г) } p = \frac{P}{\omega}.$$

**1–2. Одиниця виміру тиску:**

- а) $\frac{м^3}{с}$; б) $\frac{кг}{м^3}$; в) $\frac{Н}{м^3}$; г) $\frac{кгм}{с^2}$; д) $\frac{Н}{м^2}$.

1–3. Яка з наведених одиниць виміру є розмірністю гідростатичного тиску:

- а) ньютон; б) паскаль; в) ампер; г) стокс; д) пуаз.

1–4. Яка з наведених одиниць виміру є розмірністю гідростатичного тиску:

- а) $см^2/с$; б) $кг \cdot м/с^2$; в) $Н/м^2$; г) $кг/м^3$; д) $Н/м^3$; е) $м^2/Н$.

1–5. 1 паскаль (Па) – це:

- а) $1 Н/см^2$; б) $1 Н/м^2$; в) $1 кгс/см^2$;
г) $1 т/м^2$; д) 1 атм; е) $10000 кг/м^2$.

1–6. $100 Н/м^2$ – це:

- а) паскаль; б) гектопаскаль; в) кілопаскаль; г) мегапаскаль;

1–7. Яке з наведених у відповідях значення тиску **не** дорівнює 1 атмосфері (1 атм):

- а) $1 кгс/см^2$; б) $10000 кг/м^2$; в) $9,81 Н/см^2$;
г) $1 Н/м^2$; д) 98,1 кПа.

1–8. 1 гектопаскаль (1 гПа) – це:

- а) 10 Па; б) 10^2 Па; в) 10^3 Па;
г) 10^4 Па; д) 10^5 Па; е) 10^6 Па.

1–9. 1 кілопаскаль (1 кПа) – це:

- а) 10 Па; б) 10^2 Па; в) 10^3 Па;
г) 10^4 Па; д) 10^5 Па; е) 10^6 Па.

1–10. 1 мегапаскаль (1 МПа) – це:

- а) 10 Па; б) 10^2 Па; в) 10^3 Па;
г) 10^4 Па; д) 10^5 Па; е) 10^6 Па.



1–11. 1000 Н/м^2 – це:

- а) паскаль; б) гектопаскаль; в) кілопаскаль; г) мегапаскаль.

1–12. 10^6 Н/м^2 – це:

- а) паскаль; б) гектопаскаль; в) кілопаскаль; г) мегапаскаль.

1–13. Як правильно (*а, б, в, г, д*) показаний напрямок гідростатичного тиску на площадку $d\omega$ довільного об'єму рідини (рис. 1.1):

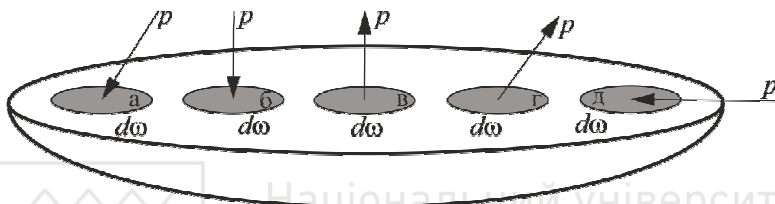


Рис. 1.1. Схема до п. 1–13

1–14. ω – площа дна посудин. h – глибина занурення точки А. p – гідростатичний тиск у точці А. Яке співвідношення між величинами тиску у точці А є правильним (рис. 1.2):

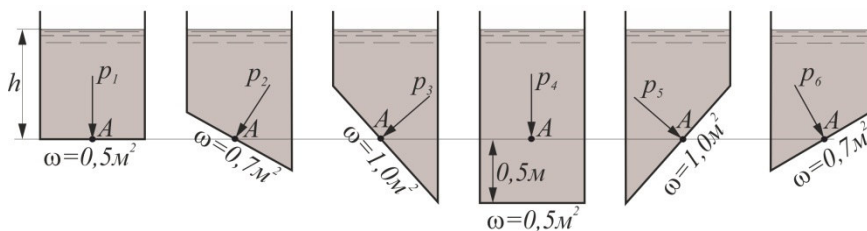


Рис. 1.2. Схема до п. 1–14

а) $p_3=p_5>p_2=p_6>p_1=p_4$;

б) $p_4>p_3=p_5>p_2=p_6>p_1$;

в) $p_4<p_3=p_5<p_2=p_6<p_1$;

г) $p_1=p_2=p_3=p_4=p_5=p_6$.



1–15. До закритого резервуара з рідиною приєднані відкрита (п'єзометр) і замкнута трубки. p_0 – гідростатичний тиск на поверхні рідини. $0-0$ – площина порівняння (рис.1.3).

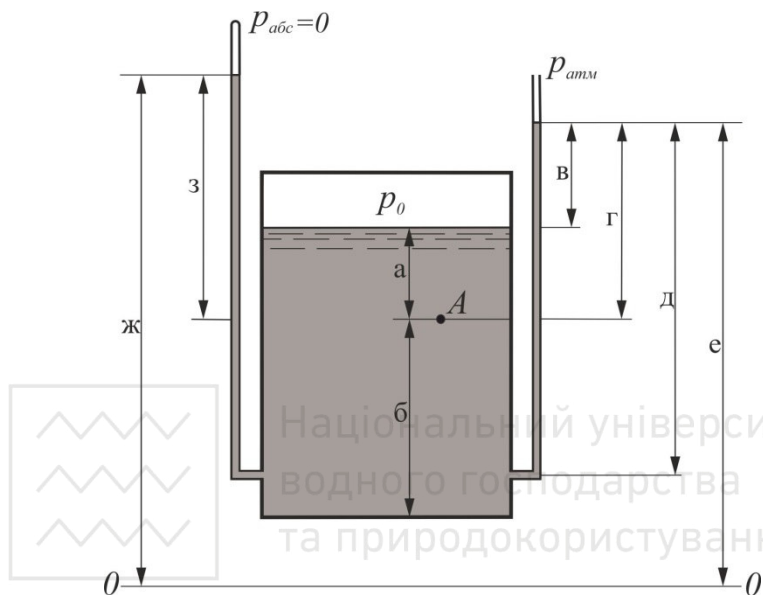


Рис. 1.3. Схема до п. 1–15

Якими літерами (а, б, в, г, д, е, ж, з) позначені для точки А наступні величини:

1. геометричний напір;
2. п'єзометрична висота;
3. зведена висота;
4. п'єзометричний напір;
5. повний гідростатичний напір.



1–16. До закритого резервуара з рідиною приєднані відкрита (п'єзометр) і замкнута трубки. p_o – гідростатичний тиск на поверхні рідини. О–О – площина порівняння (рис. 1.4).

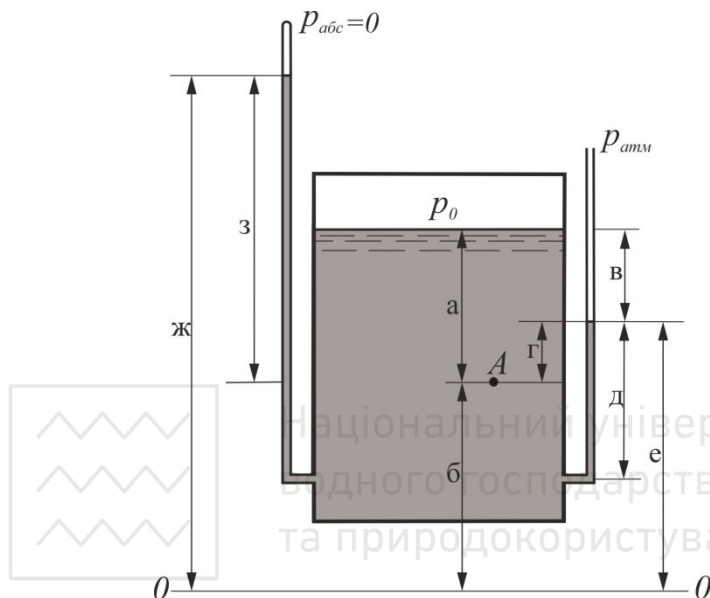


Рис. 1–4. Схема до п. 1–16

Якими літерами (а, б, в, г, д, е, ж, з) позначені для точки А наступні величини:

1. геометричний напір;
2. п'єзометрична висота;
3. зведена висота;
4. п'єзометричний напір;
5. повний гідростатичний напір.



1–17. До закритого резервуара з рідиною приєднані відкрита (п'єзометр) і закрита трубки. p_0 – гідростатичний тиск на поверхні рідини. О–О – площина порівняння (рис. 1.5).

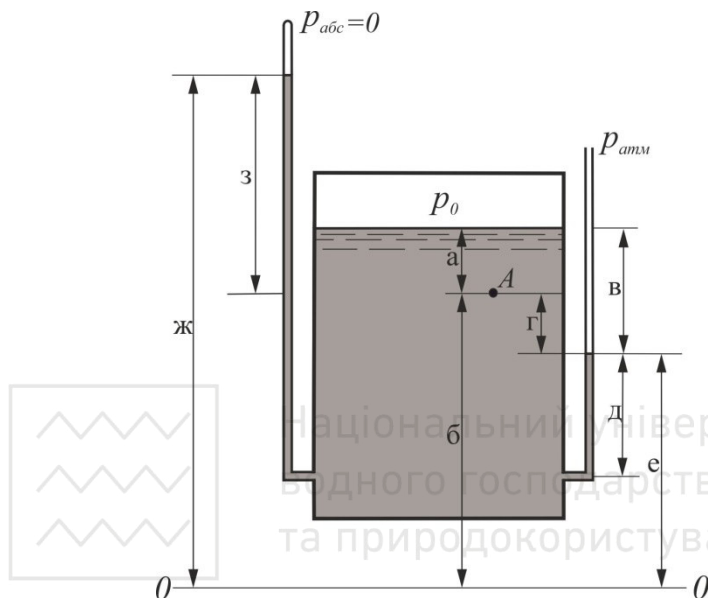


Рис. 1.5. Схема до п. 1–17

Якими літерами (а, б, в, г, д, е, ж, з) позначені для точки А наступні величини:

1. геометричний напір;
2. вакуумметрична висота;
3. зведена висота;
4. п'єзометричний напір;
5. повний гідростатичний напір.



1–18. Закритий резервуар з рідиною (рис. 1.6).

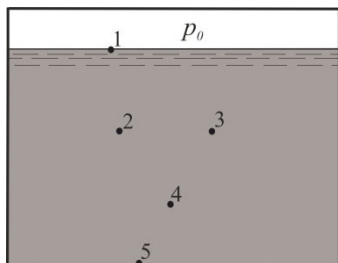


Рис. 1.6. Схема до п. 1–18

1. Яке співвідношення між значеннями п'єзометричного напору (H^n) у позначених точках є правильним:

а) $H_1^n > H_2^n = H_3^n > H_4^n > H_5^n$;

б) $H_1^n < H_2^n = H_3^n < H_4^n < H_5^n$;

в) $H_1^n = H_2^n = H_3^n = H_4^n = H_5^n$.

2. Яке співвідношення між значеннями повного гідростатичного напору (H^{zc}) у позначених точках є правильним:

а) $H_1^{zc} > H_2^{zc} = H_3^{zc} > H_4^{zc} > H_5^{zc}$;

б) $H_1^{zc} < H_2^{zc} = H_3^{zc} < H_4^{zc} < H_5^{zc}$;

в) $H_1^{zc} = H_2^{zc} = H_3^{zc} = H_4^{zc} = H_5^{zc}$.

1–19. На рисунку зображено діаграми тисків (рис. 1.7).

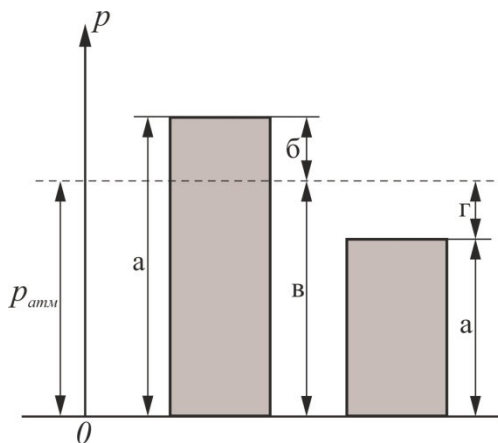
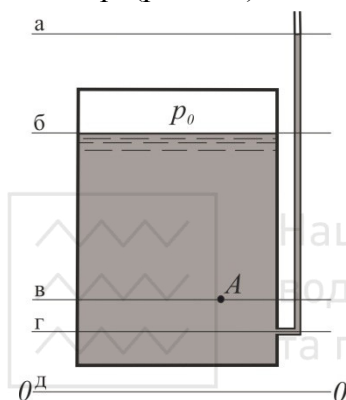


Рис. 1.7. Схема до п. 1–19



1. Якою літерою (а, б, в, г) позначена величина абсолютного тиску?
2. Якою літерою (а, б, в, г) позначена величина манометричного тиску?
3. Якою літерою (а, б, в, г) позначена величина вакуумметричного тиску?

1–20. До закритого резервуара з рідиною приєднаний п'єзометр (рис. 1.8).



Як позначена (а, б, в, г, д) п'єзометрична площина?

Рис. 1.8. Схема до п. 1–20

1–21. До закритого резервуара з рідиною приєднаний п'єзометр (рис. 1.9).

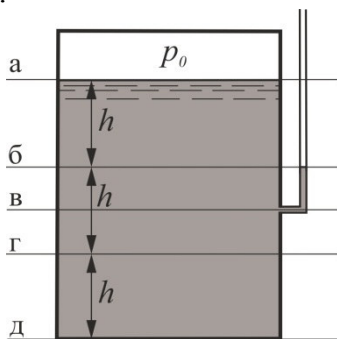


Рис. 1.9. Схема до п. 1–21



1. Як позначена (а, б, в, г, д) п'єзометрична площина?
2. Як позначена поверхня рівного тиску, у всіх точках якої манометричний тиск дорівнює 0?
3. Як позначена поверхня рівного тиску, у всіх точках якої манометричний тиск дорівнює ρgh ?
4. Як позначена поверхня рівного тиску, у всіх точках якої манометричний тиск дорівнює $2\rho gh$?

1–22. В якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на плоску поверхню АВ (рис. 1.10):

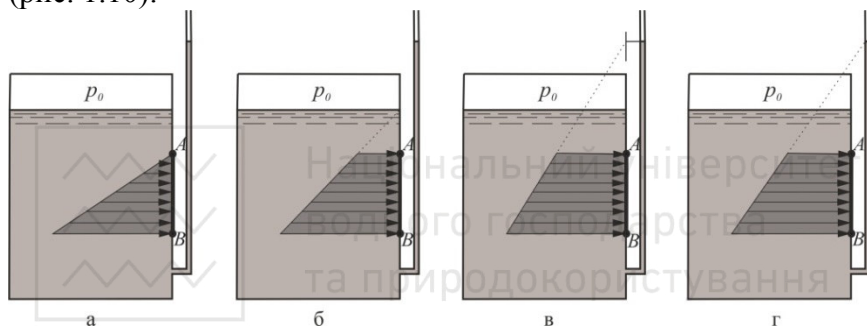


Рис. 1.10. Схема до п. 1–22

1–23. В якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на плоску поверхню АВ (рис. 1.11):

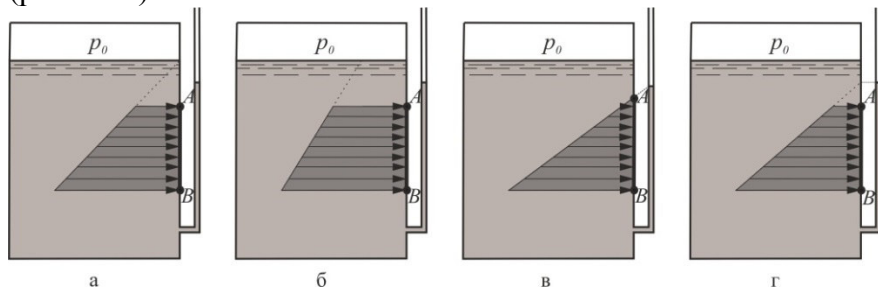


Рис. 1.11. Схема до п. 1–23



1–24. В якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на плоску поверхню АВ (рис. 1.12):

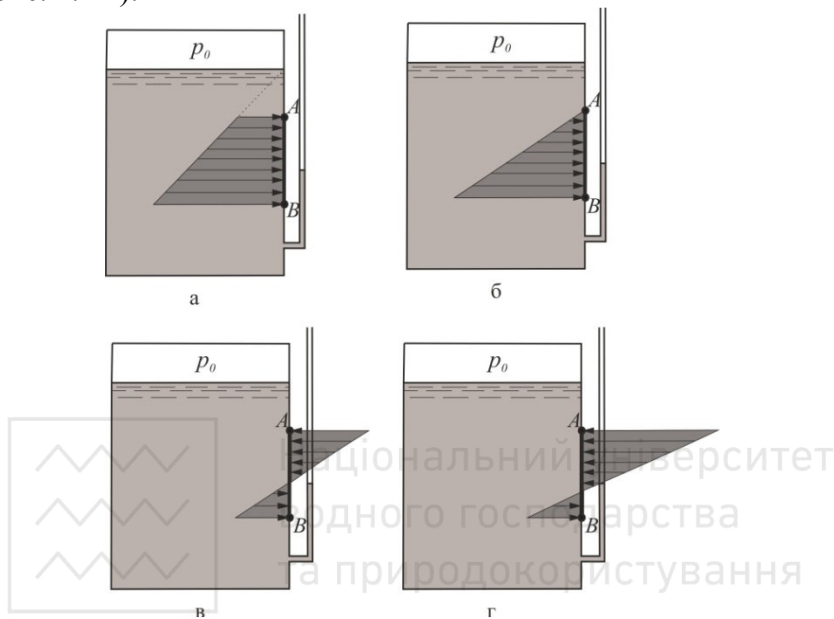


Рис. 1.12. Схема до п. 1–24

1–25. Посудини різної форми заповнені водою. Висота стовпа води – h , площа дна посудин однакова – ω (рис. 1.13).

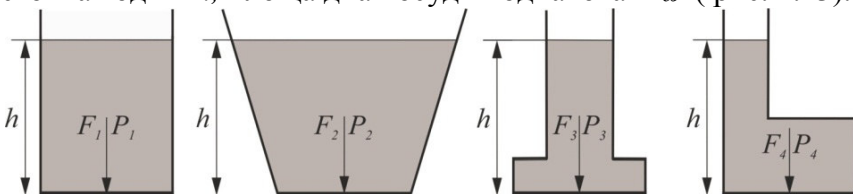


Рис. 1.13. Схема до п. 1–25

1. Яке співвідношення між силами манометричного тиску P на дно посудин є правильним:

- а) $P_2 > P_1 > P_4 > P_3$; б) $P_2 < P_1 < P_4 < P_3$; в) $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$.



2. Яке співвідношення між силами F , які передаються на підлогу (нехтуючи вагою посудин) є правильним:

а) $F_2 > F_1 > F_4 > F_3$; б) $F_2 < F_1 < F_4 < F_3$; в) $F_1 = F_2 = F_3 = F$.

1–26. Посудини заповнені водою, висота стовпа якої – h . Площа дна посудин Ω є однаковою, площа перерізу вертикальної частини посудини ω – різною (рис. 1.14).

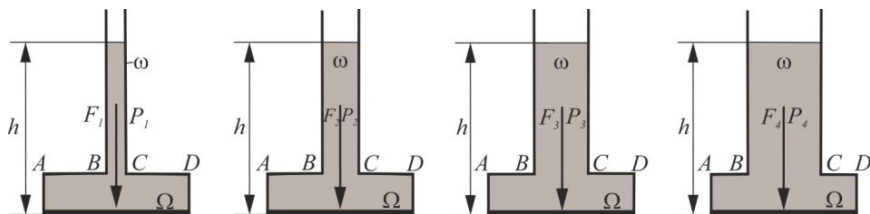


Рис. 1.14. Схема до п. 1–26

1. Яке співвідношення між силами манометричного тиску P на дно посудин є правильним:

а) $P_2 > P_1 > P_4 > P_3$; б) $P_2 < P_1 < P_4 < P_3$;
в) $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$; г) $P_1 = P_2 < P_3 = P_4$.

2. Яке співвідношення між силами F , які передаються на підлогу (нехтуючи вагою посудин) є правильним:

а) $F_2 > F_1 > F_4 > F_3$; б) $F_2 < F_1 < F_4 < F_3$;
в) $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$; г) $F_2 = F_1 < F_4 = F_3$.

3. Яке співвідношення між манометричними тисками p в точках А,В,С,Д фасонної частини посудини є правильним:

а) $p_1 > p_2 > p_3 > p_4$; б) $p_1 = p_2 = p_3 = p_4$;
в) $p_1 < p_2 < p_3 < p_4$; г) $p_1 = p_2 < p_3 = p_4$.

4. Яке співвідношення між силами манометричного тиску P на поверхню фасонної (АВСД) частини посудини є правильним:

а) $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$; б) $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$;
в) $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$; г) $P_1 = P_2 < P_3 = P_4$.



1–27. Тиск у т. А рідини під дією прикладеної до поршня сили P збільшився на величину Δp (рис. 1.15).

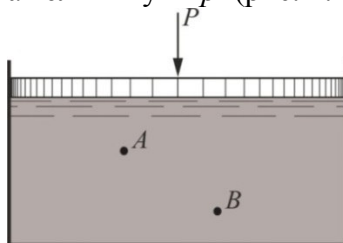


Рис. 1.15. Схема до п. 1–27

Гідростатичний тиск у т. В рідини:

- а) залишився незмінним;
- б) збільшився на величину Δp ;
- в) зменшився на величину Δp ;
- г) є таким, як у т. А.

1–28. До закритого резервуара з водою ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$), на поверхні якої тиск p_0 , приєднаний п'єзометр. (рис. 1.16).

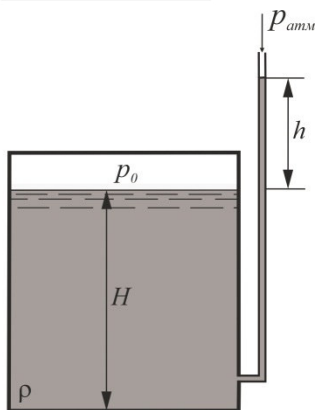


Рис. 1.16. Схема до п. 1–28

1. Яким, порівняно з атмосферним тиском, є абсолютний тиск p_0 :
 - а) більше атмосферного тиску;
 - б) дорівнює атмосферному тиску;
 - в) менше атмосферного тиску.

2. Яким є манометричний тиск p_0 за значенням:

- а) більше нуля;
- б) дорівнює нулю;
- в) менше нуля.

3. Яка залежність є правильною для знаходження манометричного тиску p_0 :



а) ρgh ; б) $\rho gh + p_{атм}$; в) $\rho g(h+H)$; г) $\rho g(h+H) + p_{атм}$.

4. Якщо $h=H=2$ м, то манометричний тиск p_o дорівнює:

а) 9,81 кПа; б) 98,1 кПа; в) 19,62 кПа; г) 39,24 кПа.

5. Абсолютний тиск p_o можна знайти з виразу:

а) ρgh ; б) $\rho gh + p_{атм}$; в) $\rho g(h+H)$; г) $\rho g(h+H) + p_{атм}$.

6. При $h=H=2$ м абсолютний тиск p_o дорівнює:

а) 107,91 кПа; б) 196,2 кПа; в) 117,72 кПа; г) 137,34 кПа.

7. Правильною залежністю для визначення h при відомому манометричному тиску p_o є така:

а) $\frac{p_o + p_{атм}}{\rho g}$; б) $\frac{p_{атм}}{\rho g}$; в) $\frac{p_o}{\rho g}$.

8. Якщо манометричний тиск $p_o = 1$ атм, то значення h дорівнює:

а) 0,01 м; б) 0,1 м; в) 1 м; г) 10 м.

1–29. До закритого резервуара з водою ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) глибиною H приєднаний п'єзометр, в якому рівень води розташований на глибині h (рис. 1.17).

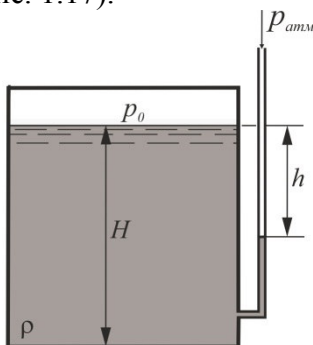


Рис. 1.17. Схема до п. 1–29



1. Яким, порівняно з атмосферним тиском, є абсолютний тиск p_o :

- а) більше атмосферного тиску;
- б) дорівнює атмосферному тиску;
- в) менше атмосферного тиску.

2. Яким є манометричний тиск p_o за значенням:

- а) більше нуля;
- б) дорівнює нулю;
- в) менше нуля.

3. Яка залежність є правильною для знаходження h при відомому значенні абсолютного тиску p_o :

а) $\frac{p_o}{\rho g}$; б) $\frac{p_o - p_{атм.}}{\rho g}$; в) $\frac{p_{атм.} - p_o}{\rho g}$; г) $H = \frac{p_o - p_{атм.}}{\rho g}$.

4. Якщо абсолютний тиск $p_o = 78,48$ кПа, то h дорівнює:

- а) 0,1 м; б) 0,2 м; в) 1,0 м; г) 2,0 м; д) 0,02 м.

5. Яка залежність є правильною для знаходження абсолютного тиску p_o при відомому значенні h :

- а) $p_{атм} + \rho gh$; б) $p_{атм} - \rho gh$; в) ρgh ; г) $p_{атм} + \rho gH$.

6. Якщо $h = \frac{H}{2} = 2$ м, то абсолютний тиск на поверхні води дорівнює:

- а) 137,34 кПа; б) 117,72 кПа; в) 78,48 кПа; г) 19,62 кПа.

7. Манометричний тиск p_o можна знайти з виразу:

- а) $p_{атм} - \rho gh$; б) $-\rho gh$; в) ρgh ; г) $-\rho gH$; д) ρgH .



8. Якщо $h = \frac{H}{2} = 2$ м, то манометричний тиск p_0 на поверхні

води дорівнює:

- а) 39,24 кПа; б) -39,24 кПа; в) 19,62 кПа;
г) -19,62 кПа; д) 78,48 кПа.

1–30. До закритого резервуара з газом приєднана трубка, яка опущена у відкриту посудину із ртуттю ($\rho_{\text{рт}}=13600$ кг/м³). Ртуть піднялась на висоту h (рис. 1.18).



Рис. 1.18. Схема до п. 1–30

1. Яким, порівняно з атмосферним тиском, є абсолютний тиск p_0 :

- а) більше атмосферного тиску;
б) менше атмосферного тиску;
в) дорівнює атмосферному тиску.

2. Яким є манометричний тиск p_0 за значенням:

- а) більше нуля; б) дорівнює нулю; в) менше нуля.

3. Яка залежність є правильною для визначення манометричного тиску p_0 :



- а) $\rho_{рт}gh$; б) $p_{атм}-\rho_{рт}gh$; в) $-\rho_{рт}gh$; г) $\rho_{рт}gh+p_{атм}$.

4. Якщо $h=0,2$ м, то вакуумметричний тиск $p_{овак}$ дорівнює:

- а) 2,668 кПа; б) 26,68 кПа; в) -26,68 кПа; г) 71,42 кПа.

5. Якщо $h=0,2$ м, то манометричний тиск $p_{0ман}$ дорівнює:

- а) -2,668 кПа; б) -26,68 кПа; в) 26,68 кПа; г) 71,42 кПа.

6. Яка залежність є правильною для визначення абсолютного тиску p_0 :

- а) $\rho_{рт}gh$; б) $p_{атм}-\rho_{рт}gh$; в) $\rho_{рт}gh+p_{атм}$; г) $-\rho_{рт}gh$.

7. Якщо $h=0,2$ м, то абсолютний тиск p_0 дорівнює:

- а) 169,52 кПа; б) 95,432 кПа; в) 71,42 кПа; г) 124,78 кПа.

8. Правильною залежністю для знаходження h при відомому манометричному тиску $p_{0ман}$ є:

- а) $\frac{p_{0ман} + p_{атм}}{\rho_{рт}g}$; б) $\frac{p_{атм} - p_{0ман}}{\rho_{рт}g}$; в) $\frac{p_{0ман}}{\rho_{рт}g}$; г) $-\frac{p_{0ман}}{\rho_{рт}g}$.

1–31. На поверхні води у закритому резервуарі тиск – p_0 (рис. 1.19).

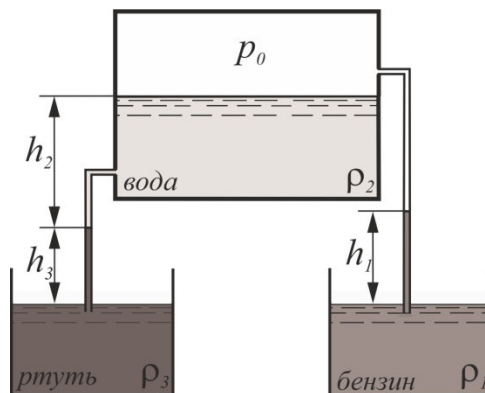


Рис. 1.19. Схема до п. 1–31



1. Яким, порівняно з атмосферним тиском, є абсолютний тиск p_o :

- а) більше атмосферного тиску;
- б) дорівнює атмосферному тиску;
- в) менше атмосферного тиску.

2. Яким є манометричний тиск p_o за значенням:

- а) більше нуля; б) менше нуля; в) дорівнює нулю.

3. Яка залежність є правильною для знаходження манометричного тиску p_o :

- а) $p_{атм} - \rho_3 g h_3 - \rho_2 g h_2$; б) $-\rho_3 g h_3 - \rho_2 g h_2$;
- в) $\rho_1 g h_1$; г) $\rho_3 g h_3 + \rho_2 g h_2 - p_{атм}$.

4. Якщо $h_2=2$ м, $h_3=0,2$ м, $\rho_1=750$ кг/м³, $\rho_2=1000$ кг/м³, $\rho_3=13600$ кг/м³, то манометричний тиск p_o дорівнює:

- а) $-51,8$ кПа; б) $144,4$ кПа; в) $46,3$ кПа; г) $-46,3$ кПа.

5. При відомому манометричному тиску p_o (п. 4) висота бензину h_1 може бути визначена, як:

- а) $\frac{p_{атм}}{\rho_1 g}$; б) $-\frac{p_o}{\rho_1 g}$; в) $\frac{p_o}{\rho_1 g}$; г) $\frac{p_o + p_{атм}}{\rho_1 g}$.

6. При знайденому p_o (п. 4) величина h_1 дорівнює:

- а) $6,3$ м; б) $16,3$ м; в) $0,63$ м; г) $10,0$ м; д) $13,3$ м.

1–32. До закритого резервуара з водою ($\rho=1000$ кг/м³) приєднаний ртутний ($\rho_{рт}=13600$ кг/м³) манометр, показання якого – h_p (рис. 1.20).

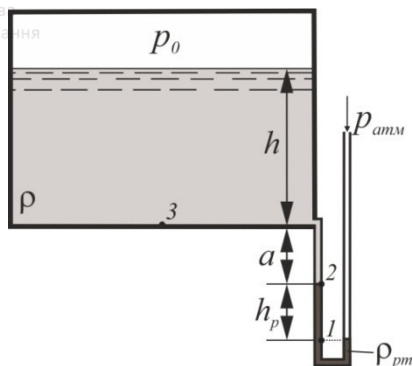


Рис. 1.20. Схема до п. 1–32

1. Яким, порівняно з атмосферним тиском, є абсолютний тиск p_0 :

- а) менше атмосферного тиску;
- б) дорівнює атмосферному тиску;
- в) більше атмосферного тиску.

2. Яким є манометричний тиск p_0 за значенням:

- а) дорівнює нулю; б) більше нуля; в) менше нуля.

3. Чому дорівнює манометричний тиск у т. 1:

- а) $p_{атм}$; б) нулю; в) $\rho_{пт} g h_p$; г) $\rho g (h + a) + \rho_{пт} g h_p$.

4. Манометричний тиск у т. 2 можна знайти за виразом:

- а) $\rho_{пт} g h_p$; б) $-\rho_{пт} g h_p$; в) $p_{атм} - \rho_{пт} g h_p$; г) $\rho g (h + a)$.

5. Якщо $h = 2$ м, $a = 0,8$ м, $h_p = 0,2$ м, то манометричний тиск у т. 2 дорівнює:

- а) $-27,47$ кПа; б) $-26,68$ кПа; в) $26,68$ кПа;
- г) $71,42$ кПа; д) $27,47$ кПа.

6. Манометричний тиск у т. 3 можна знайти за виразом:



- а) $\rho g h$; б) $p_{атм} - \rho_{pm} g h_p - \rho g a$;
в) $-\rho_{pm} g h_p - \rho g a$; г) $p_o + \rho g (h + a)$.

7. Значення манометричного тиску у т. 3 є таким:

- а) $-35,3$ кПа; б) $-34,53$ кПа; в) $63,57$ кПа;
г) $35,3$ кПа; д) $34,53$ кПа.

8. Манометричний тиск p_0 визначиться з виразу:

- а) $-\rho g (h+a) - \rho_{pm} g h_p$; б) $\rho g (h+a) + \rho_{pm} g h_p$;
в) $\rho g (h+a) + \rho_{pm} g h_p - p_{атм}$; г) $\rho g (h+a + h_p)$.

9. Значення манометричного тиску p_0 буде таким:

- а) $-40,95$ кПа; б) $29,43$ кПа; в) $57,15$ кПа; г) $-57,15$ кПа.

10. Значення абсолютного тиску p_0 є таким:

- а) $29,43$ кПа; б) $40,95$ кПа; в) $127,53$ кПа; г) $155,25$ кПа.

1–33. Трубопроводи А і В заповнені водою ($\rho=1000$ кг/м³) і з'єднані диференціальним ртутним ($\rho_{рт}=13600$ кг/м³) манометром, показання якого – h_p (рис. 1.21).

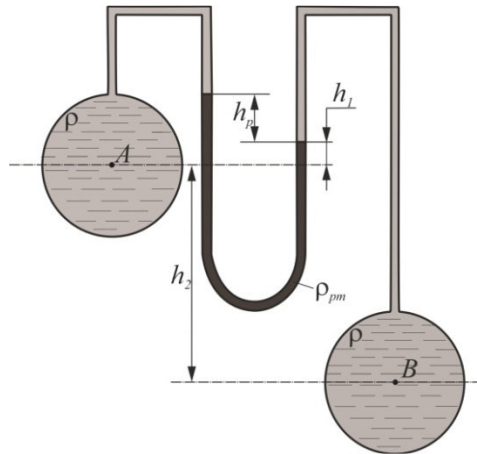


Рис. 1.21. Схема до п. 1–33



1. Яка з наведених площин (а, б, в, г) є поверхнею рівного тиску (рис. 1.22):

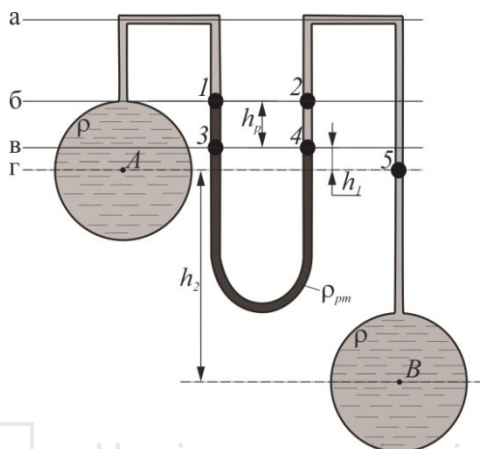


Рис. 1.22. Схема до п. 1–33.1

2. $p_A, p_B, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ – манометричні тиски у відповідних точках. Яка рівність, з наведених нижче, є правильною:

- а) $p_A = p_B$; б) $p_A = p_5$; в) $p_1 = p_2$; г) $p_3 = p_4$.

3. Який вираз дозволяє знайти значення манометричного тиску в т. 3:

- а) $p_A - \rho g(h_p + h_1) + \rho_{pm} g h_p$; б) $p_A + \rho_{pm} g h_p$;
в) $\rho_{pm} g h_p$; г) $p_A - (\rho_{pm} - \rho) g h_p$.

4. При відомому манометричному тиску в т. 4 манометричний тиск в т. В можна визначити за виразом:

- а) $p_4 + \rho_{pm} g h_p$; б) $p_4 + \rho g(h_1 + h_2) + p_{атм}$;
в) $p_4 + \rho g(h_1 + h_2)$; г) $p_4 + \rho_{pm} g h_1 + \rho g h_2$.

5. Якщо $h_p = 0,4$ м, $h_1 = 0,2$ м, $h_2 = 1,0$ м, $p_{A \text{ ман.}} = 9,81$ кПа, то манометричний тиск в т. В дорівнює:

- а) 167,16 кПа; б) 69,06 кПа; в) –69,06 кПа; г) 25,04 кПа.



6. При тих же значеннях h_p , h_l , h_2 , $p_{A\text{ ман}}$ абсолютний тиск в т. В дорівнює:

- а) 167,16 кПа; б) 29,04 кПа; в) 123,14 кПа; г) 98,1 кПа.

1–34. У сполучені циліндри налита ртуть. Сили, які прикладені до поршнів – P_1 і P_2 ; манометричний тиск у закритому циліндрі – p_0 . h – різниця у висотному положенні поршнів, площі яких ω_1 і ω_2 (рис. 1.23).

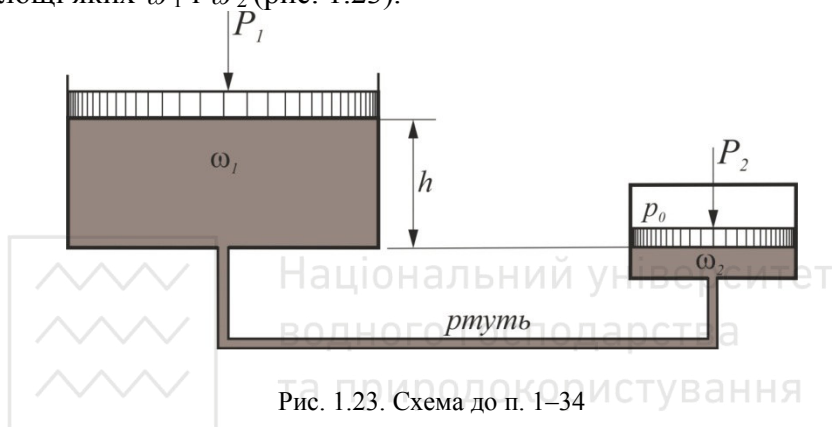


Рис. 1.23. Схема до п. 1–34

1. Яка залежність є правильною для визначення манометричного тиску під малим поршнем:

- а) p_0 ; б) $p_0 + \frac{P_2}{\omega_2}$; в) $\frac{P_2}{\omega_2}$; г) $p_0 + \rho g h$.

2. Який вираз є правильним для визначення манометричного тиску під більшим поршнем:

- а) $p_0 - \rho g h$; б) $\frac{P_2}{\omega_2} - \rho g h$; в) $p_0 + \rho g h$; г) $p_0 + \frac{P_2}{\omega_2} - \rho g h$.

3. Якщо $p_0 = 19,62$ кПа, $\omega_1 = 0,196$ м², $\omega_2 = 0,098$ м², $P_2 = 9,8$ кН, $h = 0,2$ м, $\rho = 13600$ кг/м³, то манометричний тиск під більшим поршнем дорівнює:

- а) 119,6 кПа; б) 92,92 кПа; в) 29,29 кПа;
г) 98,1 кПа; д) 11,96 кПа.



4. Чому дорівнює сила P_I , яка забезпечує рівновагу рідини:

- а) 234 кН; б) 23,4 кН; в) 2,34 кН; г) 18,2 кН; д) 1,82 кН.

1–35. На рисунку зображено прямодіючий паровий насос, у якого діаметри парового A і водяного B циліндрів однакові (рис. 1.24).

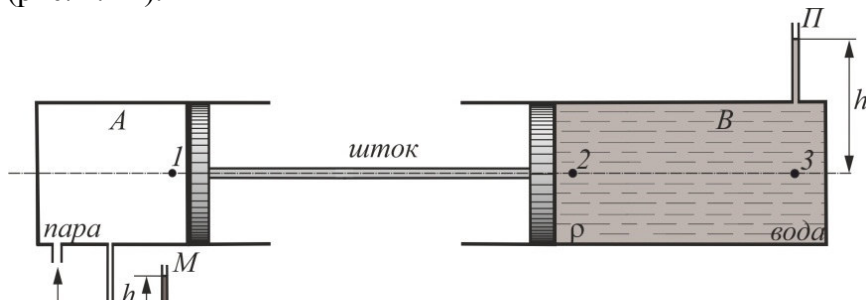


Рис. 1.24. Схема до п. 1–35

1. При показаному на схемі положенні ртуті у ртутному манометрі M яким є, за значенням, манометричний тиск в циліндрі A :

- а) більше нуля; б) дорівнює нулю; в) менше нуля.

2. Який вираз для знаходження манометричного тиску в т. 1 (p_1) є правильним:

- а) $p_{\text{атм}} + \rho_{\text{рт}} g h_p$; б) $-\rho_{\text{рт}} g h_p$; в) $\rho_{\text{рт}} g h_p - p_{\text{атм}}$; г) $\rho_{\text{рт}} g h_p$.

3. Чи можна вважати тиск в т. 1, т. 2 і т. 3 рівними ($p_1 = p_2 = p_3$):

а) так (система знаходиться в рівновазі, точки – на одній горизонталі);

б) ні (у циліндрі A – пара, а у циліндрі B – вода);

в) $p_1 = p_2 \neq p_3$ (точки 1 і 2 розташовані біля поршнів, а т. 3 віддалена від них).



4. При показаному на схемі положенні рівня води у п'єзометрі Π яким є, за значенням, манометричний тиск у т. 3 – p_3 :

- а) більше нуля; б) дорівнює нулю; в) менше нуля.

5. Якщо відома величина манометричного тиску у т. 3 – p_3 , то висоту підняття води h у п'єзометрі можна визначити за виразом:

- а) $\frac{p_3 + p_{атм.}}{\rho g}$; б) $\frac{p_3}{\rho g}$; в) $\frac{p_3 - p_{атм.}}{\rho g}$; г) $\frac{p_3 + p_2}{\rho g}$.

6. При $\rho_{рт}=13600 \text{ кг/м}^3$, $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$, $h_p=0,2 \text{ м}$ величина h дорівнює:

- а) 0,272 м; б) 2,72 м; в) 12,72 м; г) 27,2 м.

1–36. Показник h_1 , який відповідає манометричному тиску газу у газовому стояку на першому поверсі будинку (переріз 1–1) складає 0,1 м (рис. 1.25).

Густина газу $\rho_{г}=0,70 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, води – $\rho=1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, повітря – $\rho_{п}=1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

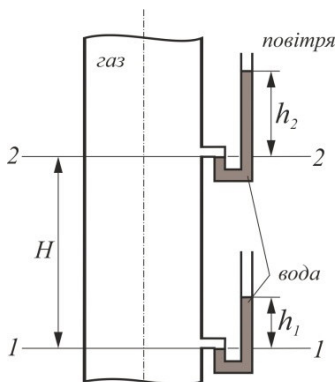


Рис. 1.25. Схема до п. 1–36



1. Якщо $p_{п1}$ – тиск повітря на рівні перерізу 1–1, то на рівні перерізу 2–2, розташованому на відстані H , тиск повітря $p_{п2}$ буде дорівнювати:

- а) $p_{п1}$; б) $\rho_{п} g H$; в) $\rho g h_2$;
г) $\rho g h_1 - \rho_n g H$; д) $p_{п1} - \rho_n g H$.

2. Тиск газу в перерізі 1–1 $p_{г1}$ може бути визначений з виразу:

- а) $\rho g h_1$; б) $p_{п1} + \rho g h_1$; в) $\rho g h_2$; г) $\rho g h_2 + \rho_z g H$.

3. Тиск газу в перерізі 2–2 $p_{г2}$ може бути визначений з виразу:

- а) $p_{г1} + \rho_{г} g H$; б) $\rho g h_1$;
в) $\rho g h_2$; г) $p_{п1} + \rho g h_1 - \rho_z g H$.

4. Манометричний тиск газу (p_m) у перерізі стояка становить собою різницю тисків газу і повітря ($p_{г} - p_{п}$). Вироз для визначення манометричного тиску газу у перерізі 2–2 стояка $p_{м2}$ буде таким:

- а) $\rho g h_1 + (\rho_n - \rho_z) g H$; б) $\rho g h_1 - (\rho_n - \rho_z) g H$;
в) $\rho g h_1 - \rho_z g H$; г) $\rho g h_1 + \rho_z g H$.

5. Значення манометричного тиску газу в перерізі 2–2 стояка $p_{м2}$ при $H = 60$ м і незмінних густинах газу і повітря буде дорівнювати:

- а) 347,3 Па; б) 624,6 Па; в) 1328,3 Па; г) 1567,1 Па.

6. Показник h_2 може бути визначений із залежності:

- а) $\frac{p_{м2}}{\rho_z g}$; б) $\frac{p_{м2}}{\rho g}$; в) $\frac{p_{м2} + p_{п2}}{\rho g}$; г) $\frac{p_{м2}}{(\rho_n - \rho_{z_{zz}}) g}$.

7. Значення показника h_2 буде таким:



а) 95 мм; б) 115 мм; в) 135 мм; г) 155 мм.

1–37. Посудина діаметром $d = 60$ мм і вагою $G = 3$ Н знаходиться в рідині ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) і підтримується силою $F = 11$ Н. Різниця горизонтів рідини дорівнює h . p_0 – тиск на поверхні рідини в посудині (рис. 1.26).

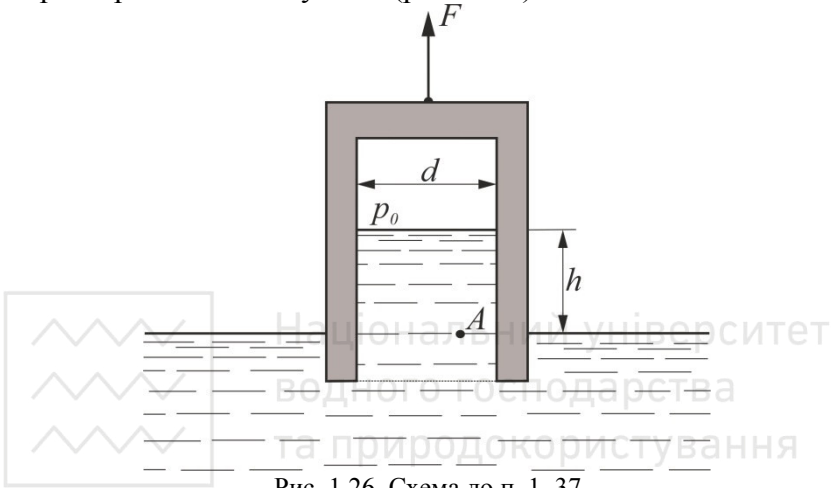


Рис. 1.26. Схема до п. 1–37

1. Чому дорівнює манометричний тиск в т. А:

- а) нулю; б) ρgh ; в) $p_{0\text{абс}} + \rho gh$; г) $\rho gh + p_{\text{атм}}$.

2. Яким є манометричний тиск p_0 за значенням:

- а) більше нуля; б) дорівнює нулю; в) менше нуля.

3. Яка залежність є правильною для визначення сили манометричного тиску P , що діє на кришку посудини:

- а) $\rho gh \frac{\pi d^2}{4}$; б) $(p_{0\text{абс}} + \rho gh) \frac{\pi d^2}{4}$;
в) $(p_{0\text{ман}} + \rho gh) \frac{\pi d^2}{4}$; г) $(\rho gh + p_{\text{атм}}) \frac{\pi d^2}{4}$.

4. Вказана сила P :а) збільшує підтримуючу силу F ($F + P = G$);б) зменшує підтримуючу силу F ($F = P + G$).5. Висота підйому води у посудині h визначиться із залежності:

$$\text{а) } \frac{F - G}{\rho g \frac{\pi d^2}{4}}; \quad \text{б) } \frac{\frac{F + G}{\frac{\pi d^2}{4}} - p_{\text{атм}}}{\rho g};$$

$$\text{в) } \frac{\frac{F - G}{\frac{\pi d^2}{4}} - p_{0\text{ман}}}{\rho g}; \quad \text{г) } \frac{F + G}{\rho g \frac{\pi d^2}{4}}.$$

6. Значення висоти підйому води у посудині h дорівнює:

а) 0,51 м; б) 0,40 м; в) 0,29 м; г) 0,63 м.

7. Манометричний тиск $p_{0\text{ман.}}$ на поверхні води у посудині визначиться з формули:а) ρgh ; б) $-\rho gh$; в) $p_{\text{атм.}} + \rho gh$; г) $p_{\text{атм.}} - \rho gh$.8. Величина манометричного тиску $p_{0\text{ман.}}$ дорівнює:а) 2,84 кПа; б) $-5,0$ кПа; в) 5,0 кПа; г) $-2,84$ кПа.9. Величина абсолютного тиску $p_{0\text{абс}}$ на поверхні води у посудині дорівнює:

а) 93,1 кПа; б) 100,94 кПа; в) 95,26 кПа; г) 102,1 кПа.



1–38. Відкрита зверху і знизу посудина вагою $G = 100$ Н складається з двох циліндричних частин, внутрішні діаметри яких $d = 0,3$ м та $D = 0,6$ м і знаходиться на нерухомому поршні (рис. 1.27).

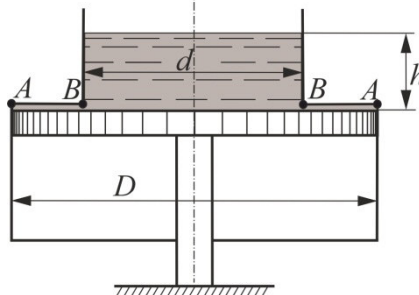


Рис. 1.27. Схема до п. 1–38

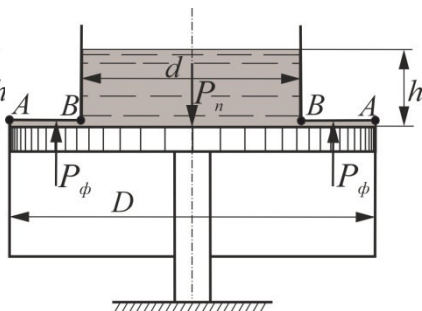


Рис. 1.28. Схема до п. 1–38.1

1. Сила тиску P_n , що діє на поршень з боку води ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) у верхньому циліндрі, визначиться з виразу (рис. 1.28):

а) $\rho gh \frac{\pi d^2}{4}$; б) $\rho gh \frac{\pi D^2}{4}$; в) $\rho gh \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$; г) $\rho \pi \frac{d^2}{4} h$.

2. Сила тиску, що діє на фасонну частину (АВВА) циліндрів – P_ϕ , визначиться з виразу:

а) $\rho gh \frac{\pi d^2}{4}$; б) $\rho gh \frac{\pi D^2}{4}$; в) $\rho gh \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$; г) $\rho \pi \frac{d^2}{4} h$.

3. При якому співвідношенні сил забезпечується нерухомість посудини (рівновага системи), нехтуючи тертям посудини об поршень:

а) $P_n = P_\phi$; б) $G + P_n = P_\phi$; в) $G = P_n + P_\phi$; г) $G = P_\phi$.

4. Якою повинна бути мінімальна глибина води h у верхній частині посудини, щоб посудина сплила над поршнем:

а) 0,029 м; б) 0,036 м; в) 0,048 м; г) 0,144 м.



1–39. У закритому резервуарі знаходиться рідина, густина якої $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$. До верху резервуара приєднаний вакуумметр V , який показує тиск $p_{\text{вак.}} = 0,3 \text{ атм}$, до дна приєднаний манометр M , який показує тиск $p_{\text{ман.}} = 0,2 \text{ атм}$ (рис. 1.29).

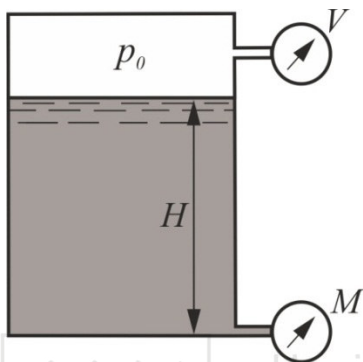


Рис. 1.29. Схема до п. 1–39

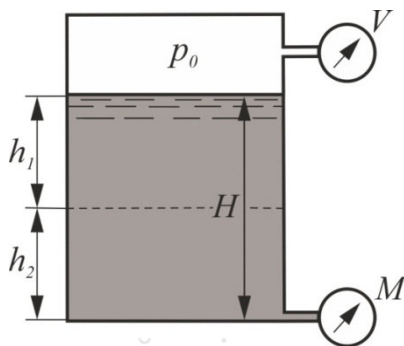


Рис. 1.30. Схема до п. 1–39.3

1. Висота H наповнення резервуара рідиною визначиться з виразу:

а) $\frac{p_{\text{ман.}}}{\rho g}$; б) $\frac{p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; в) $\frac{p_{\text{ман.}} - p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; г) $\frac{p_{\text{ман.}} + p_{\text{вак.}}}{\rho g}$.

2. Значення висоти H наповнення резервуару є таким:

а) 2,86 м; б) 0,72 м; в) 7,14 м; г) 0,14 м.

3. Товщина h_2 шару рідини, яка створює тиск $p_{\text{ман.}}$ у точках дна резервуару, визначиться за залежністю (рис. 1.30):

а) $\frac{p_{\text{ман.}}}{\rho g}$; б) $\frac{p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; в) $\frac{p_{\text{ман.}} - p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; г) $\frac{p_{\text{ман.}} + p_{\text{вак.}}}{\rho g}$.

4. Значення h_2 дорівнює:

а) 0,14 м; б) 7,14 м; в) 0,72 м; г) 2,86 м.



5. Товщина h_1 шару рідини, при якій на її поверхні у резервуарі буде вакуумметричний тиск $p_{\text{вак.}}$, визначиться за залежністю:

а) $\frac{p_{\text{ман.}}}{\rho g}$; б) $\frac{p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; в) $\frac{p_{\text{ман.}} - p_{\text{вак.}}}{\rho g}$; г) $\frac{p_{\text{ман.}} + p_{\text{вак.}}}{\rho g}$.

6. Значення h_1 дорівнює:

а) 0,14 м; б) 0,72 м; в) 4,28 м; г) 2,72 м.

Оскільки $H = h_1 + h_2$, перевірте відповідь у п. 2.

7. У якому варіанті (а, б, в, г) правильно показана епюра тиску з боку рідини на вертикальну стінку резервуару (рис. 1.31):

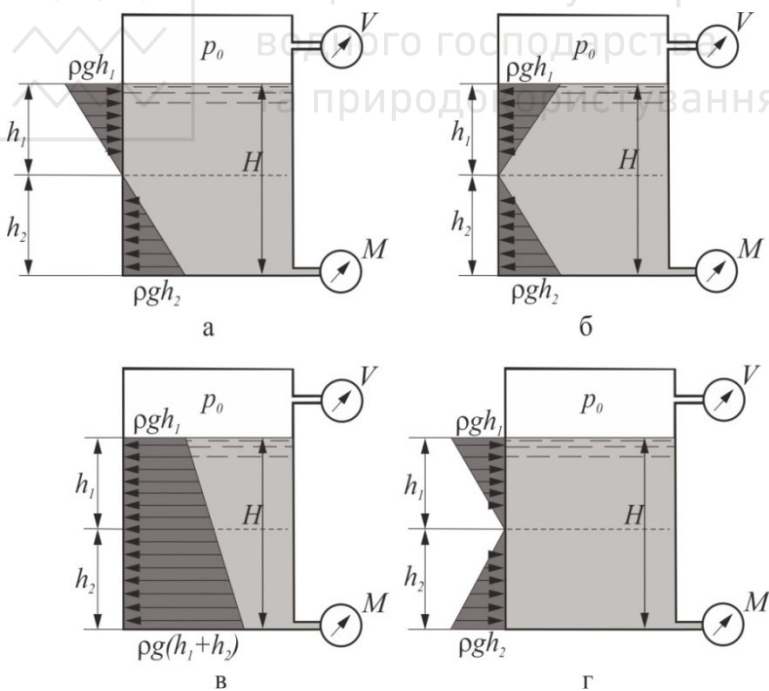


Рис. 1.31. Схема до п. 1–39.7



1–40. У закритому резервуарі знаходиться бензин ($\rho_{\text{б}}=750 \text{ кг/м}^3$) та вода ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$). Показання ртутних ($\rho_{\text{рт}}=13600 \text{ кг/м}^3$) манометрів h_1 та h_2 (рис. 1.32).

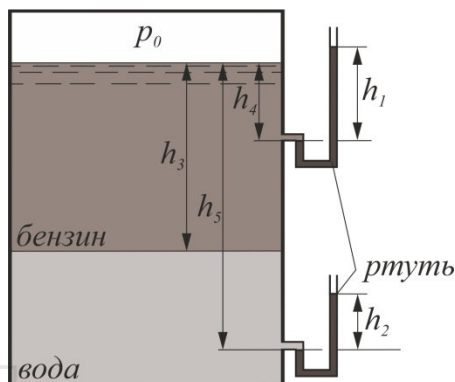


Рис. 1.32. Схема до п. 1–40

1. Яка залежність є правильною для знаходження манометричного тиску p_0 на поверхні рідини у резервуарі:

- а) $\rho_{\text{б}} g h_3$; б) $\rho_{\text{б}} g h_4$; в) $\rho_{\text{рт}} g h_1$;
г) $\rho_{\text{рт}} g h_1 - \rho_{\text{б}} g h_4$; д) $\rho_{\text{рт}} g (h_4 - h_1)$.

2. Якщо $h_1 = 0,1 \text{ м}$, $h_2 = 0,2 \text{ м}$, $h_3 = 1,0 \text{ м}$, $h_4 = 0,6 \text{ м}$, то манометричний тиск p_0 дорівнює:

- а) 4,41кПа; б) 8,93кПа; в) 7,36кПа;
г) 13,34кПа; д) 66,7кПа.

3. Манометричний тиск в площині приєднання нижнього манометра (на глибині h_5) – p_n можна знайти з виразу:

- а) $\rho_{\text{б}} g h_5$; б) $\rho g h_5$; в) $\rho_{\text{рт}} g h_2$;
г) $p_0 + \rho g h_5 + \rho_{\text{б}} g h_3$; д) $\rho_{\text{рт}} g (h_2 + h_1)$.



4. Величина манометричного тиску p_n дорівнює:

- а) 98,1 кПа; б) 5,89 кПа; в) 9,81 кПа;
г) 40,02 кПа; д) 26,68 кПа.

5. Глибину h_5 приєднання нижнього манометра можна знайти з виразу:

- а) $\frac{p_n}{\rho_o g}$; б) $\frac{p_n}{\rho g}$;
в) $\frac{p_n - p_0 - \rho_o g h_3}{\rho g} + h_3$; г) $\frac{p_n - p_0}{\rho_o g}$.

6. Глибина h_5 приєднання нижнього манометра є такою:

- а) 2,06 м; б) 2,71 м; в) 3,63 м; г) 1,81 м; д) 2,41 м.

Відповіді до розділу 1:

- 1–32.7. 34,53 кПа; 1–36.6. 135 мм; 1–37.8. 0,29 м;
1–39.4. 2,86 м; 1–40.2. 8,93 кПа; 1–40.6. 2,06 м.

Розділ 2. Сила тиску рідини на плоскій поверхні (стінки)

Сила гідростатичного тиску, яка діє на плоску стінку, дорівнює тиску в геометричному центрі стінки, помноженому на площу змоченої поверхні стінки:

$$P = p_c \omega,$$

або

$$P = (p_o + \rho g h_c) \omega,$$

де p_o – тиск на вільній поверхні рідини,

p_c – тиск у геометричному центрі стінки (т. С),



h_c – глибина занурення геометричного центра стінки,

ω – площа змоченої поверхні стінки.

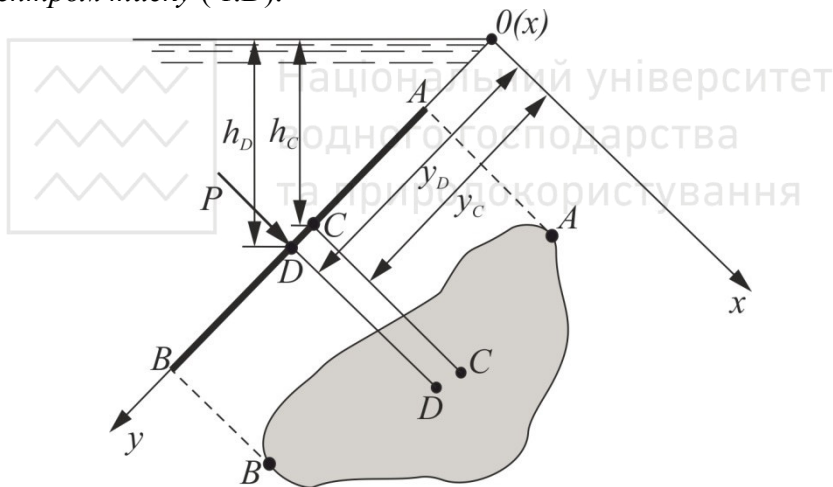
У разі, коли на вільній поверхні рідини абсолютний тиск дорівнює атмосферному, то сила манометричного тиску P на плоску стінку визначається за формулою:

$$P = \rho g h_c \omega.$$

У випадку горизонтальної плоскої поверхні $h_c = h$, де h – висота стовпа рідини над поверхнею.

Одиницею виміру сили у системі СІ є ньютон (H), кіло-ньютон ($1 \text{ кН} = 10^3 H$), меганьютон ($1 \text{ МН} = 10^6 H$).

Точку на змоченій частині стінки, через яку проходить лінія дії сили тиску (нормально до поверхні) називають *центром тиску* (т.Д).



Координату центра тиску (y_D) можна визначити за формулою

$$y_D = y_C + \frac{I_0}{y_C \omega},$$

де y_C – координата геометричного центра стінки (за початок координат приймається точка перетину плоскої поверхні або її продовження з п'єзометричною площиною);



I_0 – момент інерції площі змоченої частини стінки (ω) відносно горизонтальної осі, яка проходить через геометричний центр стінки.

Якщо стінка є вертикальною і манометричний тиск на поверхні рідини $p_0 = 0$, то координати y_c та y_0 дорівнюють глибинам, відповідно, h_c та h_0 .

Силу гідростатичного тиску на плоску поверхню постійної ширини b та положення центра тиску можна визначити за допомогою епюри тиску, а саме:

- сила тиску – за формулою $P = S_{en} b$, де S_{en} – площа епюри тиску;

- координата центра тиску є координатою геометричного центру епюри тиску.

У разі трикутної епюри тиску її геометричний центр знаходиться на відстані $\frac{2}{3}$ висоти епюри від її вершини.

Для горизонтальної поверхні її геометричний центр і центр тиску збігаються в одній точці.

2–1. Якою літерою (а, б, в, г, д, е) позначено на схемі (рис. 2.1) параметр h_c , що входить у формулу для визначення сили тиску на плоску стінку (стінка AB, геометричний центр її – т. C, центр тиску – т. D).

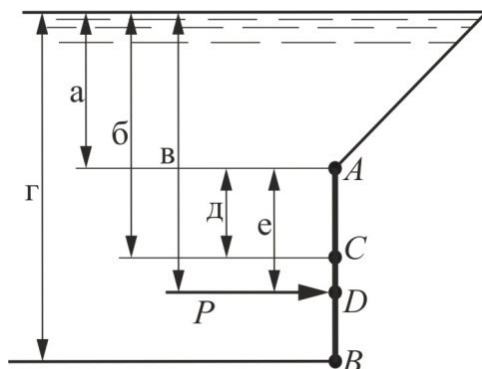


Рис. 2.1. Схема до п. 2–1

2–2. На рис. 2.2 зображено епюру тиску на плоску стінку АВ. Як правильно позначено (а, б, в, г) розташування сили тиску P на стінку.

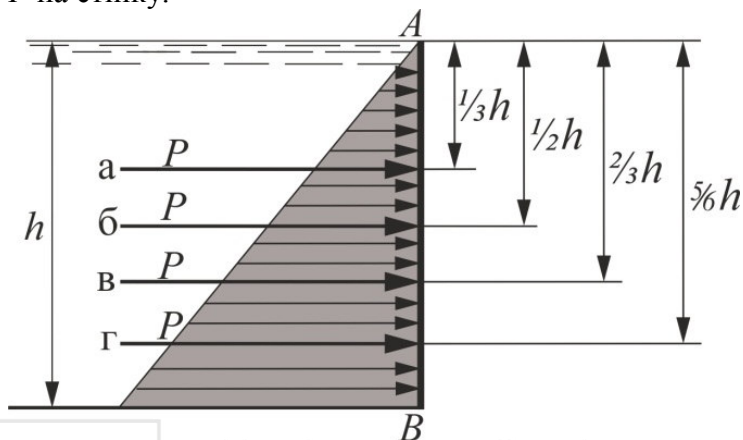


Рис. 2.2. Схема до п. 2–2

2–3. Плоска стінка АВ шириною $b = 1,0$ м, занурена у воду ($\rho = 1000$ кг/м³). Глибини $h_1 = 2,0$ м, $h_2 = 4,0$ м (рис. 2.3).

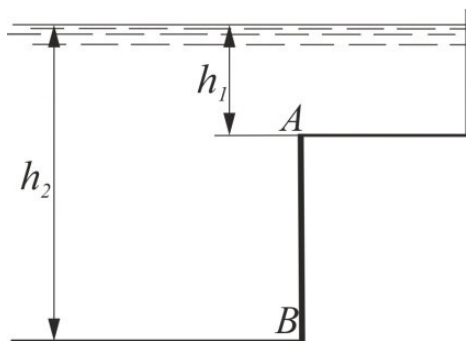


Рис. 2.3. Схема до п. 2–3

1. т. С – геометричний центр стінки. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно позначено розташування сили тиску P на стінку (рис. 2.4):

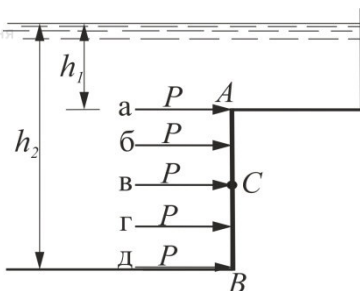


Рис. 2.4. Схема до п. 2–3.1

2. Сила тиску на стінку АВ може бути визначена за формулою:

а) $P = \rho g \frac{h_2^2}{2} b$; б) $P = \rho g \frac{(h_2 - h_1)^2}{2} b$; в) $P = \rho g h_1^2 b$;

г) $P = \rho g \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{2} b$; д) $P = \rho g \left(h_1 + \frac{h_2}{2} \right) (h_2 - h_1) b$.

3. Сила тиску P на стінку АВ дорівнює:

а) 58,86 кН; б) 39,24 кН; в) 196,2 кН;
г) 78,48 кН; д) 19,62 кН.

4. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно позначено координату центра тиску (рис. 2.5):

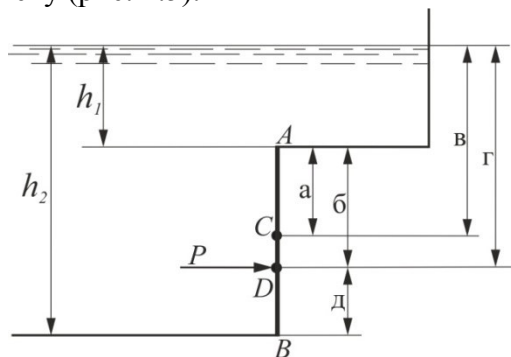


Рис. 2.5. Схема до п. 2–3.4



5. Координату центра тиску можна знайти за формулою:

а) $y_{\partial} = \frac{2}{3}(h_2 - h_1)$;

б) $y_{\partial} = \frac{2}{3}h_2$;

в) $y_{\partial} = \left(h_1 + \frac{h_2}{2}\right) + \frac{(h_2 - h_1)^2}{12(h_1 + h_2)}$;

г) $y_{\partial} = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{(h_2 - h_1)^2}{6(h_1 + h_2)}$;

д) $y_{\partial} = h_1 + \frac{2}{3}(h_1 - h_2)$.

6. Координата центра тиску y_{∂} дорівнює:

а) 3,33 м; б) 3,0 м; в) 1,33 м; г) 2,67 м; д) 3,11 м.

7. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на стінку АВ (рис. 2.6):

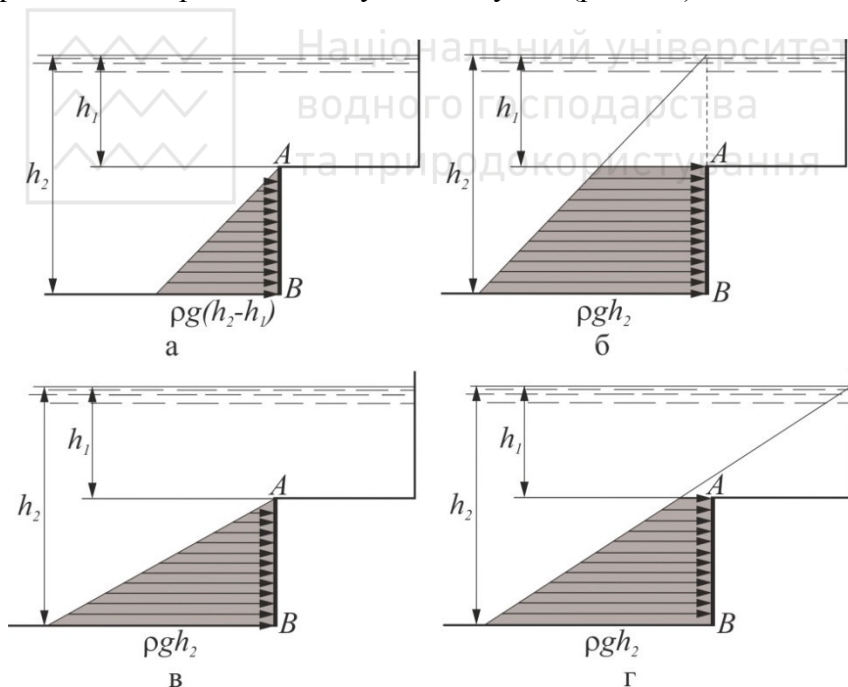


Рис. 2.6. Схема до п. 2–3.7



2–4. Квадратний отвір, розмірами $a \times a$, закритий кришкою АВ. $H=12$ м, $h=3$ м, $a=2,0$ м, $\rho=1000$ кг/м³ (рис. 2.7).

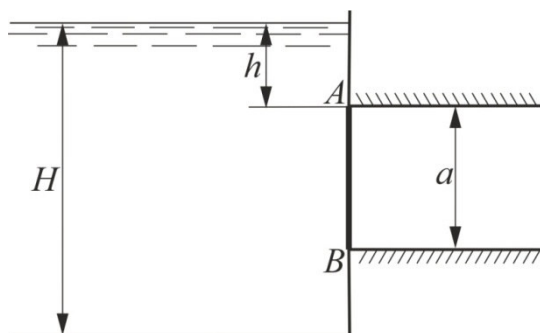


Рис. 2.7. Схема до п. 2–4

1. т. С – геометричний центр кришки. Якою літерою (а, б, в, г, д) позначено правильне розташування сили тиску на стінку (рис. 2.8):

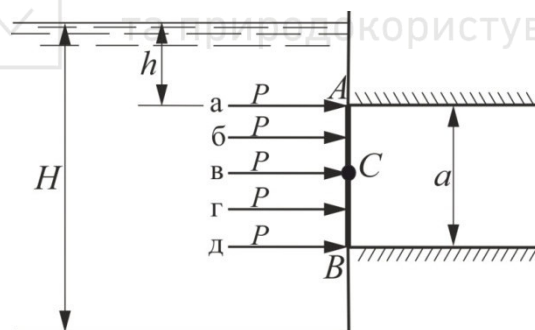


Рис. 2.8. Схема до п. 2–4.1

2. Сила тиску на кришку визначиться за формулою:

а) $P = \rho g \frac{a}{2} a^2$; б) $P = \rho g \frac{h}{2} a^2$; в) $P = \rho g \frac{h+a}{2} a^2$;

г) $P = \rho g \left(h + \frac{a}{2} \right) a^2$; д) $P = \rho g \frac{H}{2} a^2$.

3. Сила тиску P на кришку є такою:



4. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно позначено координату центра тиску (рис. 2.9):

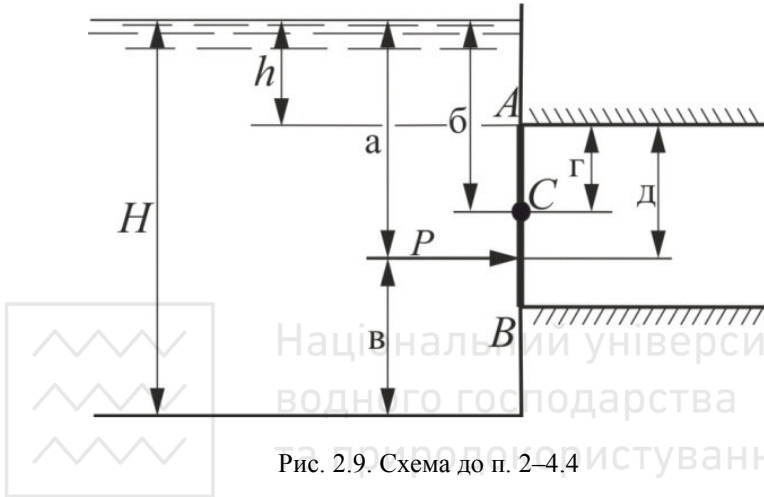


Рис. 2.9. Схема до п. 2–4.4

5. Координату центра тиску можна визначити за формулою:

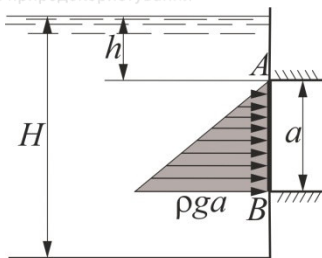
$$\text{a) } y_\partial = \frac{2}{3}a; \quad \text{б) } y_\partial = \frac{2}{3}H; \quad \text{в) } y_\partial = \left(h + \frac{a}{2}\right) + \frac{a^2}{12\left(h + \frac{a}{2}\right)};$$

$$\text{r) } y_{\delta} = \frac{h+a}{2} + \frac{a^2}{6(h+a)}; \quad \text{д) } y_{\delta} = \frac{2}{3}(h+a).$$

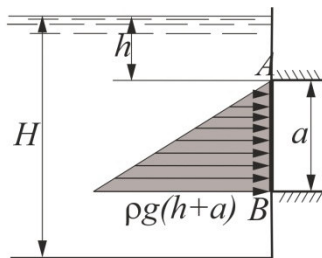
6. Значення координати центра тиску y_d є таким:

- а) 8,0 м; б) 1,33 м; в) 4,08 м; г) 3,33 м; д) 2,77 м.

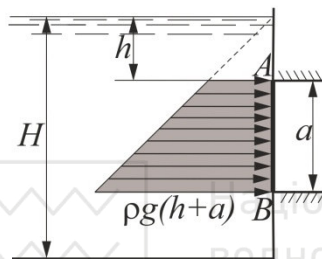
7. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епурою манометричного тиску на кришку АВ (рис. 2.10):



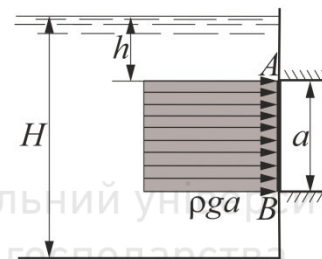
а



б



в



г

Рис. 2.10. Схема до п. 2-4.7

2-5. Прямокутний щит ОВ, шириною $b=1,0$ м, розташований під кутом $\alpha=30^\circ$ до горизонту і закріплений шарнірно у точці О. Глибина води перед щитом $h=2,0$ м, $a=1,0$ м (рис. 2.11).

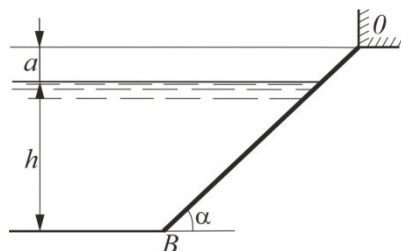


Рис. 2.11. Схема до п. 2-5

1. т. С – геометричний центр змоченої поверхні щита. Якою літерою (а, б, в, г, д) позначено правильне розташування сили тиску на стінку (рис. 2.12):

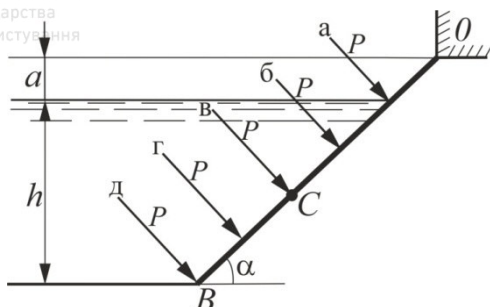


Рис. 2.12. Схема до п. 2–5.1

2. Сила тиску на щит визначиться за формулою:

а) $P = \rho g \frac{h^2}{2} b$; б) $P = \rho g \frac{h^2}{2 \sin \alpha} b$; в) $P = \rho g \frac{(h + a)^2}{2} b$;

г) $P = \rho g \frac{(h + a)^2}{2 \sin \alpha} b$; д) $P = \rho g \frac{h h + a}{2 \sin \alpha} b$.

3. Сила тиску P на щит дорівнює:

а) 44,14 кН; б) 19,62 кН; в) 88,29 кН; г) 39,24 кН.

4. Якою літерою (а, б, в, г) правильно позначено координату центра тиску y_0 (рис. 2.13):

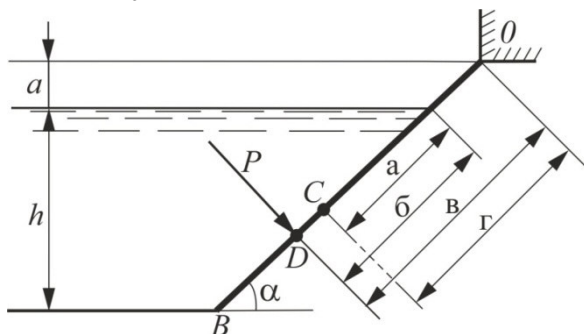


Рис. 2.13. Схема до п. 2–5.4

5. Координата центра тиску на щит визначиться за формулою:



9. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на щит (рис. 2.15):

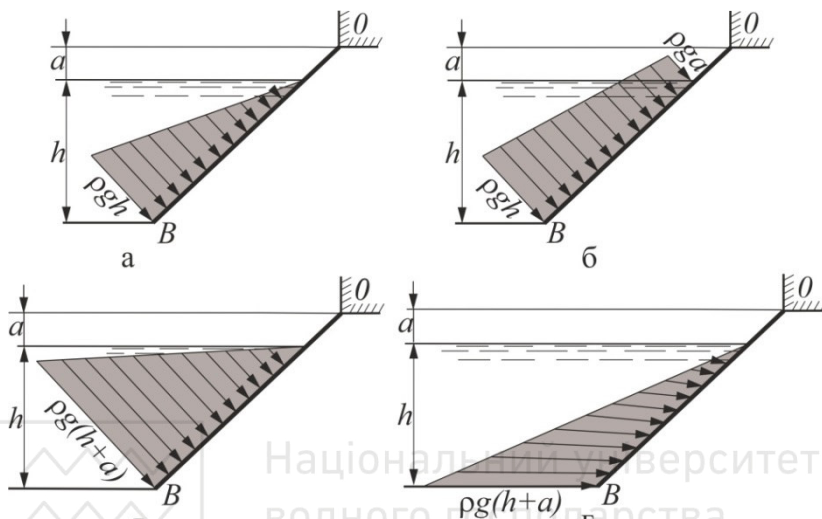


Рис. 2.15. Схема до п. 2–5.9

2–6. Вхід у трубу квадратного перерізу, розмірами $a \times a$, закритий кришкою АВ, розташованої під кутом α до горизонталі. На поверхні води у закритому резервуарі манометричний тиск p_0 . Висота підняття води у п'єзометрі h_n , глибина занурення верхньої кромки кришки (т. А) h (рис. 2.16).

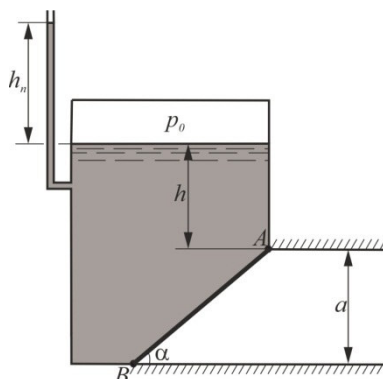


Рис. 2.16. Схема до п. 2–6



1. т. С — геометричний центр поверхні кришки. Якою літерою (а, б, в, г, д) позначено правильне розташування сили тиску на кришку (рис. 2.17):

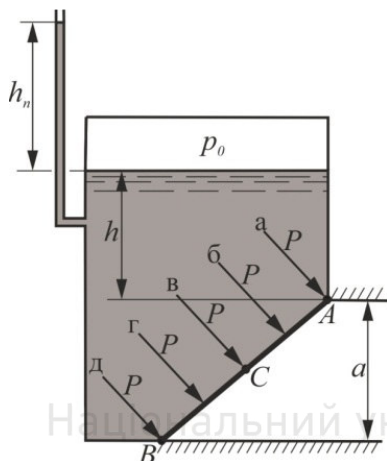


Рис. 2.17. Схема до п. 2–6.1

2. Сила тиску на кришку P визначиться за формулою:

а) $P = \rho g \left(h + \frac{a}{2} \right) \frac{a^2}{\sin \alpha}$;

б) $P = (p_0 + \rho g h) a^2$;

в) $P = \left(p_0 + \rho g \left(h + \frac{a}{2} \right) \right) \frac{a^2}{\sin \alpha}$;

г) $P = \left(p_0 + \rho g \frac{a}{2} \right) \frac{a^2}{\sin \alpha}$;

д) $P = \left(p_0 + \rho g \left(h + \frac{a}{2} \right) \right) a^2$.

3. Якщо $p_0 = 19,62$ кПа, $a = 1,0$ м, $h = 2$ м, $\alpha = 30^\circ$, $\rho = 1000$ кг/м³, то сила тиску P на кришку є такою:

а) 44,14 кН; б) 49,05 кН; в) 88,29 кН; г) 39,24 кН.

4. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно позначено координату центра тиску (рис. 2.18):

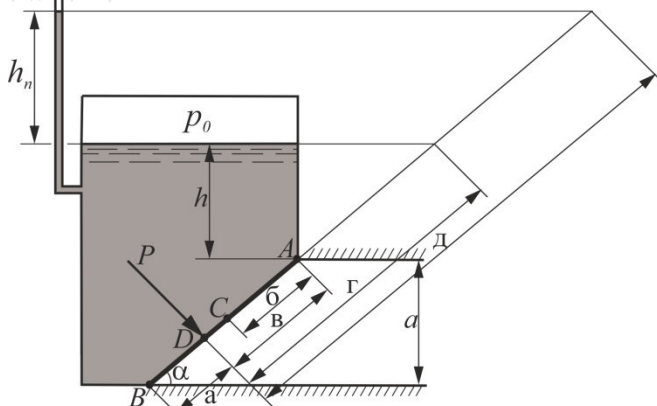


Рис. 2.18. Схема до п. 2–6.4

5. Координату центра тиску можна визначити за формулою:

$$\text{а) } y_o = \frac{\left(h + \frac{a}{2}\right)}{\sin \alpha} + \frac{a^2}{12 \sin \alpha \left(h + \frac{a}{2}\right)};$$

$$\text{б) } y_o = \frac{\left(h_n + h + \frac{a}{2}\right)}{\sin \alpha} + \frac{a^2}{12 \sin \alpha \left(h_n + h + \frac{a}{2}\right)};$$

$$\text{в) } y_o = \frac{h_n + h + \frac{a}{2}}{\sin \alpha}; \quad \text{г) } y_o = \frac{2a}{3 \sin \alpha}; \quad \text{д) } y_o = \frac{2\left(h + \frac{a}{2}\right)}{3 \sin \alpha}.$$

6. Висота підняття води у п'єзометрі h_n є такою:

а) 2,0 м; б) 1,33 м; в) 2,18 м; г) 0,20 м; д) 3,30 м.

7. Значення координати центра тиску y_o є таким:

а) 5,07 м; б) 1,33 м; в) 9,0 м; г) 5,0 м; д) 9,04 м.



8. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є епюрою манометричного тиску на кришку АВ (рис. 2.19):

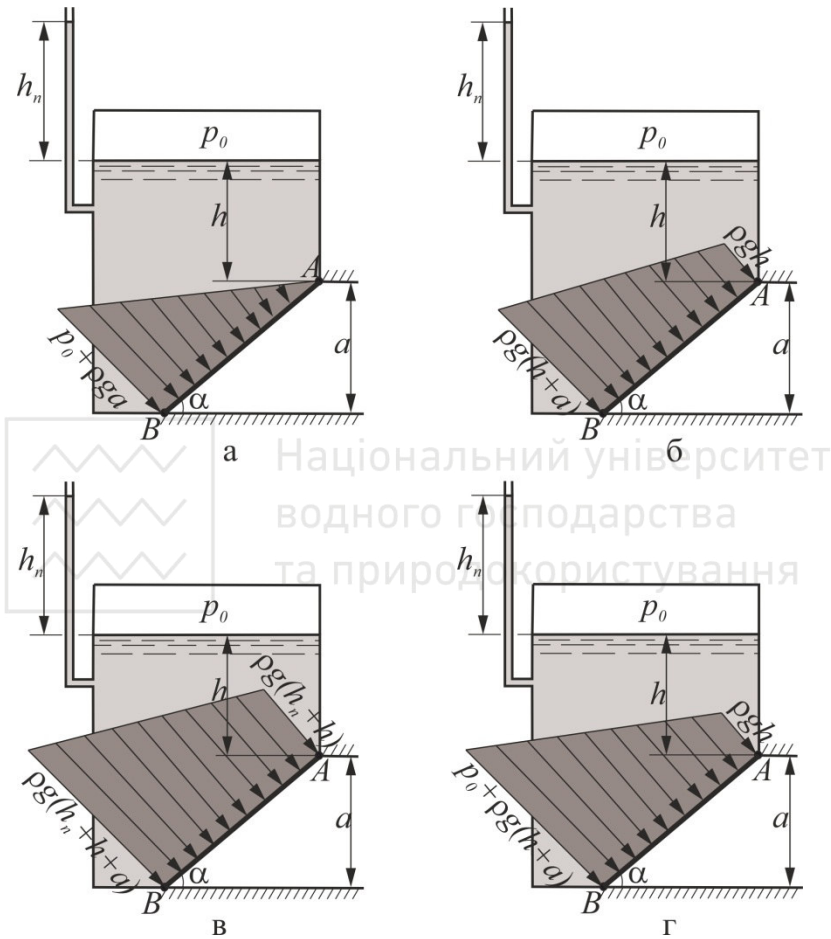


Рис. 2.19. Схема до п. 2–6.8

Відповіді до розділу 2:

2–3.6. 3,11 м; 2–4.3. 156,96 кН;
2–5.8. 35,24 кН; 2–6.6. 2,0 м.



Розділ 3. Сила тиску рідини на криволінійні поверхні

Сила гідростатичного тиску на криволінійні поверхні визначається за формулою:

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

де P_x та P_z – горизонтальна та вертикальна складові сили P .

Горизонтальна складова P_x сили тиску P дорівнює силі тиску на плоску стінку, яка є вертикальною проекцією криволінійної поверхні:

$$P_x = (p_0 + \rho g h_c) \omega_{\text{верт}},$$

або при $p_0_{\text{ман}} = 0$ (відкриті посудини)

$$P_x = \rho g h_c \omega_{\text{верт}},$$

де h_c – глибина занурення геометричного центра вертикальної проекції криволінійної поверхні, площа якої – $\omega_{\text{верт}}$.

Вертикальна складова P_z сили тиску P дорівнює силі тяжіння рідини в об'ємі тіла тиску (V_m):

$$P_z = \rho g V_m.$$

Тіло тиску – об'єм, обмежений: 1. криволінійною поверхнею; 2. вертикальними площинами, що проходять через кінці криволінійної поверхні; 3. п'єзометричною площиною, або її продовженням.

Вертикальна складова P_z буде напрямлена вгору, якщо тіло тиску знаходиться на незмоченій частині криволінійної поверхні (не заповнене рідиною), і напрямлена донизу, якщо тіло тиску заповнене рідиною (розташоване на змоченій частині поверхні).

Якщо криволінійна поверхня постійної кривизни (має один центр кривизни), то рівнодіюча сила P проходить через центр кривизни і точку перетину напрямків дії сил



P_x та P_z під кутом (α) до горизонталі, який можна визначити, як

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x}.$$

Точка перетину лінії дії сили P з криволінійною поверхнею є *центром тиску*. Якщо початок координат сумістити з центром кривизни радіуса R , то координати центра тиску x, z визначаються за формулами:

$$x = R \cos \alpha, \quad z = R \sin \alpha$$

3–1. У формулі для визначення горизонтальної складової сили тиску на криволінійну поверхню (стінку) $P_x = \rho g h_c \omega$, ω – це площа:

- а) криволінійної поверхні;
- б) вертикальної проекції криволінійної поверхні;
- в) перерізу тіла тиску;
- г) поверхні рідини перед стінкою.

3–2. У формулі для визначення вертикальної складової P_z сили тиску на криволінійну поверхню (стінку) $P_z = \rho g V$, V – це об'єм:

- а) тіла тиску;
- б) рідини, яка діє на стінку;
- в) об'єм рідини, яка діє на стінку разом з об'ємом тіла тиску.

3–3. На вальцьовий затвор діє рідина, глибиною h .

У якому варіанті (а, б, в, г) правильно зображено (заштриховано) переріз тіла тиску (рис. 3.1):

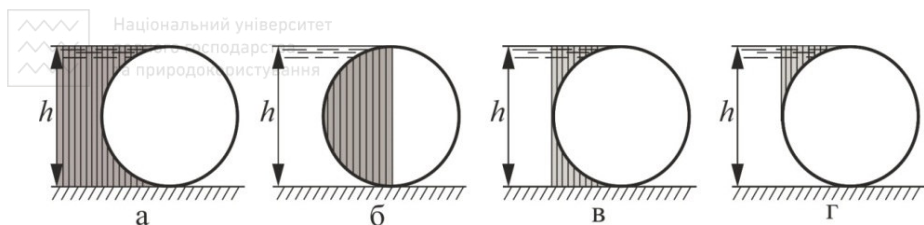


Рис. 3.1. Схема до п. 3–3

3–4. На криволінійну циліндричну поверхню АВ діє рідина, глибиною h .

У якому варіанті (а, б, в, г) правильно зображено (заштриховано) переріз тіла тиску (рис. 3.2 ... 3.8):

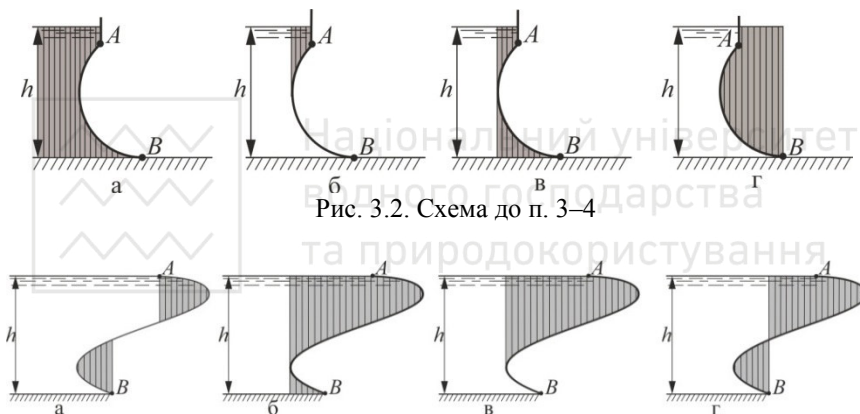


Рис. 3.2. Схема до п. 3–4

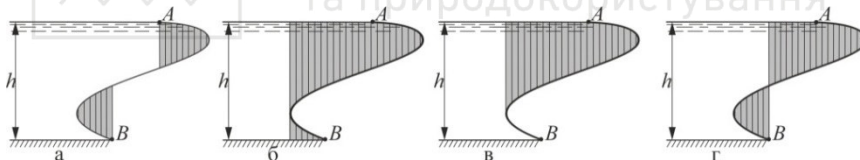


Рис. 3.3. Схема до п. 3–4

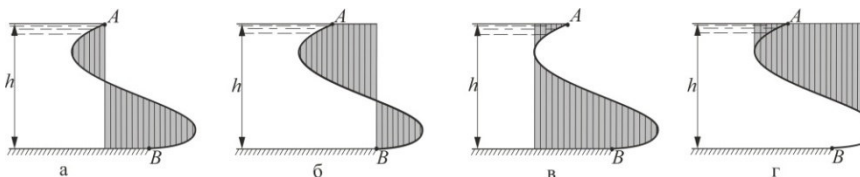


Рис. 3.4. Схема до п. 3–4

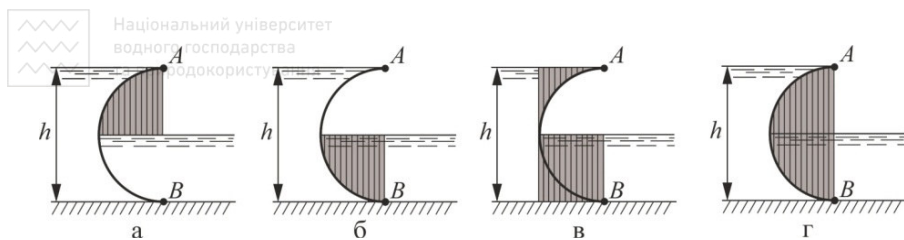


Рис. 3.5. Схема до п. 3–4

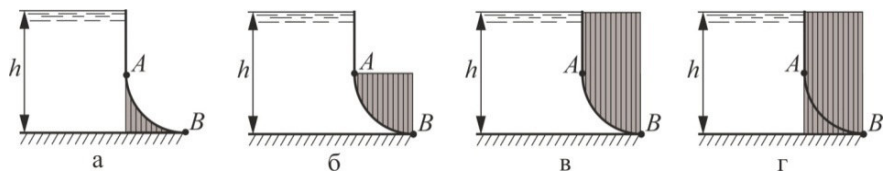


Рис. 3.6. Схема до п. 3–4

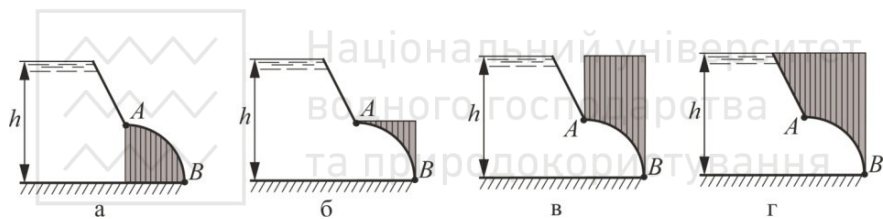


Рис. 3.7. Схема до п. 3–4

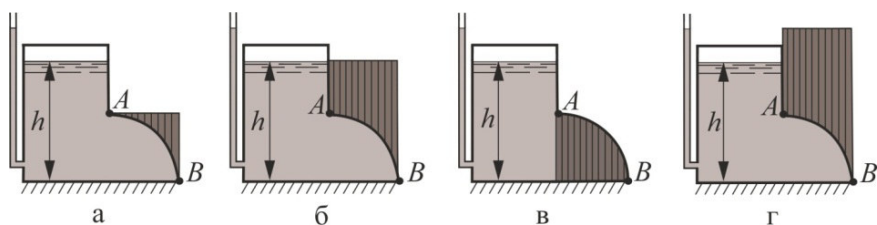


Рис. 3.8. Схема до п. 3–4

3–5. Для циліндричної поверхні ABED, на яку діє рідина, побудовано тіло тиску ABCDEF (рис. 3.9).

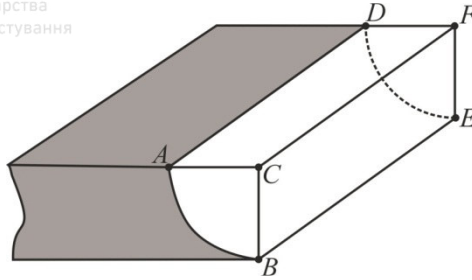


Рис. 3.9. Схема до п. 3–5

Площа (ω) якої частини тіла тиску використовується для визначення горизонтальної складової P_x за формулою $P_x = \rho g h_c \omega_{\text{верт}}$:

- а) ABC; б) ACFD; в) BCFE; г) DEF; д) ABED.

3–6. На криволінійну циліндричну поверхню AB радіуса $r = 2,0$ м і довжиною $b = 1,0$ м діє вода ($\rho = 1000$ кг/м³), глибиною $h = r$ (рис. 3.10).

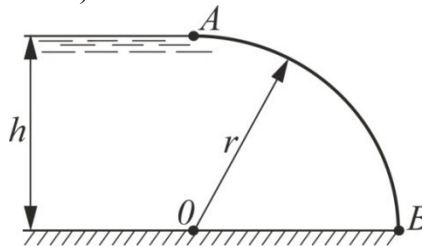


Рис. 3.10. Схема до п. 3–6

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на AB визначається за формулою:

$$\text{а) } P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{2\pi}{4} b; \quad \text{б) } P_x = \rho g h b h;$$



в) $P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{\pi r^2}{4}$; г) $P_x = \rho g h \frac{\pi r^2}{4}$; д) $P_x = \rho g \frac{h}{2} b h$.

2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ дорівнює:

а) 61,6 кН; б) 9,81 кН; в) 19,62 кН; г) 39,24 кН; д) 30,80 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) правильно зображено (заштриховано) переріз тіла тиску (рис. 3.11):

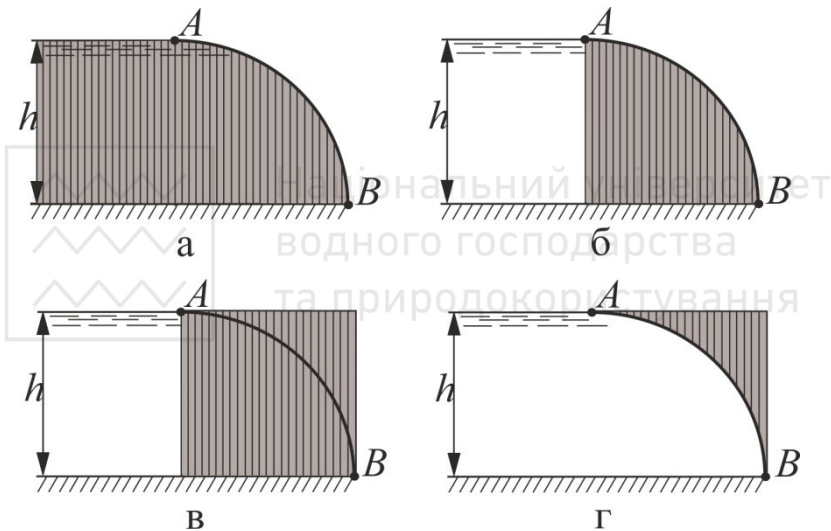


Рис. 3.11. Схема до п. 3–6.3

2. Вертикальна складова P_z сили тиску P на АВ визначиться за формулою:

а) $P_z = \rho g \frac{\pi r^2}{4} b$; б) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{8} \right) b$;

в) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) b$; г) $P_z = \rho g h^2 b$.



5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на АВ

буде таким:

а) 8,44 кН; б) 39,24 кН; в) 30,80 кН; г) 23,84 кН; д) 4,22 кН.

6. Рівнодіюча сила тиску P на поверхню АВ дорівнює:

а) 12,94 кН; б) 21,36 кН; в) 26,04 кН;

г) 30,18 кН; д) 32,47 кН.

7. Точка D – центр тиску. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрямок дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.12):

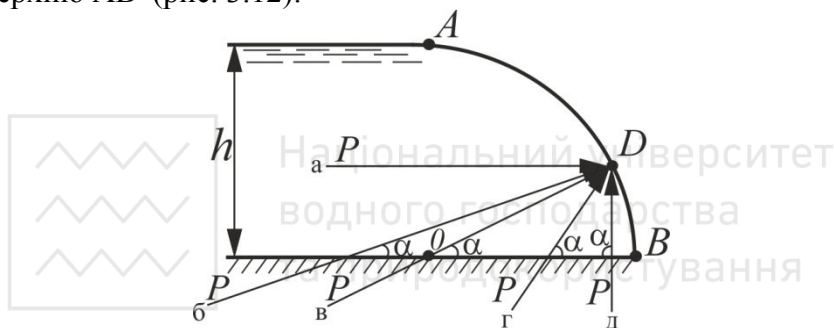


Рис. 3.12. Схема до п. 3–6.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

а) 0° ; б) $17,5^\circ$; в) $23,3^\circ$; д) 90° ; г) $31,7^\circ$.

9. Якими є координати x , z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.13):

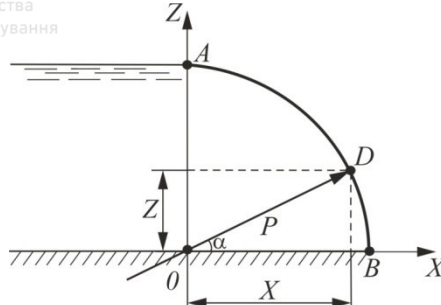


Рис. 3.13. Схема до п. 3–6.9

Координата x дорівнює:

- а) $x = 1,5$ м; б) $x = 1,7$ м; в) $x = 1,91$ м; г) $x = 1,84$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = 0,6$ м; б) $z = 0,79$ м; в) $z = 1,06$ м; г) $z = 1,5$ м.

3–7. На криволінійну циліндричну поверхню АВ радіуса $r = 2,0$ м і довжиною $b = 1,0$ м діє вода ($\rho = 1000$ кг/м³), глибиною $h = r$ (рис. 3.14).

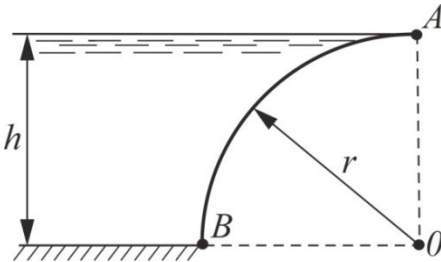


Рис. 3.14. Схема до п. 3–7

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на АВ визначиться за формулою:

- а) $P_x = \rho g \frac{h}{2} b h$; б) $P_x = \rho g h b h$; в) $P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{\pi r^2}{4}$;
г) $P_x = \rho g h \frac{\pi r^2}{4}$; д) $P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{2\pi r}{4} b$.



2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ є таким:

- а) 61,6 кН; б) 39,24 кН; в) 30,8 кН;
г) 19,62 кН; д) 9,81 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.15):

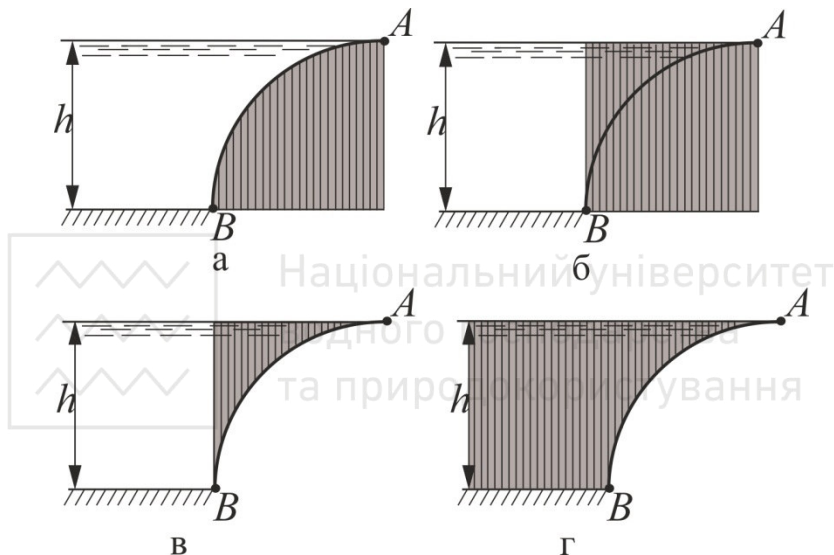


Рис. 3.15. Схема до п. 3–7.3

4. Вертикальна складова P_z сили тиску P на АВ визначається за формулою:

- а) $P_z = \rho g h^2 b$; б) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) b$;
в) $P_x = \rho g \frac{\pi r^2}{4} b$; г) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{8} \right) b$.



5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на АВ

є таким:

- а) 39,24 кН; б) 30,8 кН; в) 23,84 кН;
г) 8,44 кН; д) 4,22 кН.

6. Рівнодіюча сила тиску P на поверхню АВ дорівнює:

- а) 10,82 кН; б) 11,02 кН; в) 14,26 кН;
г) 16,12 кН; д) 21,36 кН.

7. Точка D – центр тиску. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрямок дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.16):

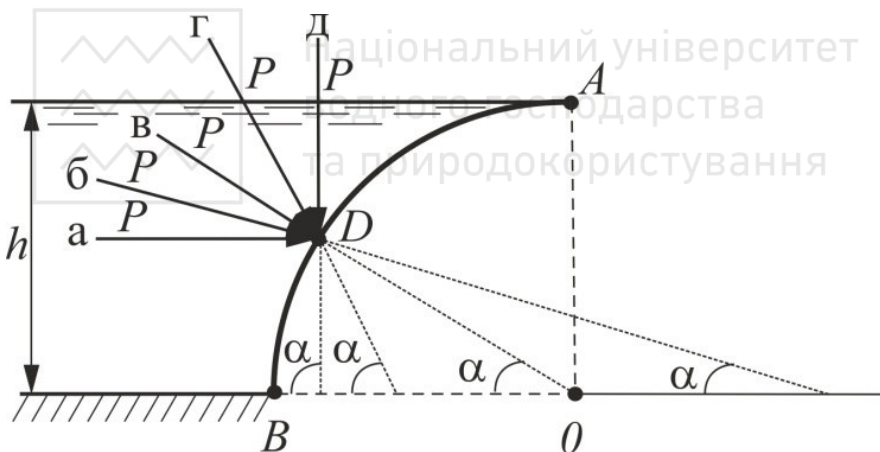


Рис. 3.16. Схема до п. 3–7.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) 0° ; б) $31,7^\circ$; в) $17,5^\circ$; г) $23,3^\circ$; д) 90° .



9. Мінімальне зусилля T , яке необхідно прикласти до нижньої кромки поверхні (т. В), щоб підняти її (обернути), нехтуючи масою поверхні, навколо точки А, можна знайти з виразу (рис. 3.17):

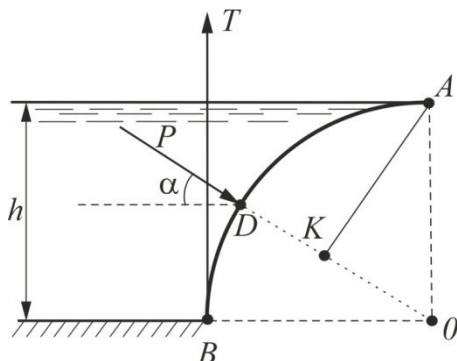


Рис. 3.17. Схема до п. 3–7.9

а) $T = P$; б) $T = P \sin \alpha$; в) $T = P \cos \alpha$.

10. Величина зусилля T дорівнює:

а) 21,36 кН; б) 8,45 кН; в) 12,24 кН; г) 19,62 кН.

11. Якими є координати x, z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.18):

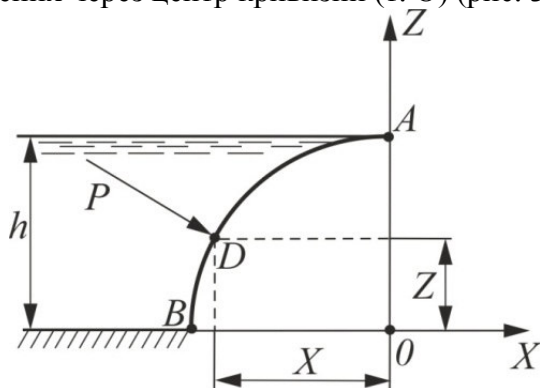


Рис. 3–18. Схема до п. 3–7.11



Координата x дорівнює:

- а) $x = -1,84$ м; б) $x = -1,91$ м;
в) $x = -1,70$ м; г) $x = -1,50$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = 1,50$ м; б) $z = 1,06$ м;
в) $z = 0,79$ м; г) $z = 0,61$ м.

3–8. На криволінійну циліндричну поверхню АВ радіуса $r = 2,0$ м і довжиною $b = 1,0$ м діє вода ($\rho = 1000$ кг/м³), глибиною $h = r$ (рис. 3.19).

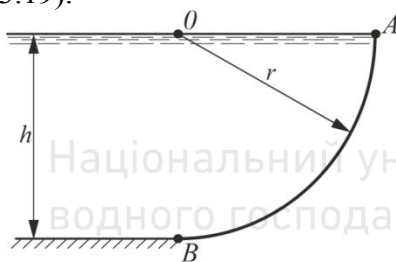


Рис. 3.19. Схема до п. 3–8

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на АВ визначиться за формулою:

- а) $P_x = \rho g h b h$; б) $P_x = \rho g \frac{h}{2} b h$; в) $P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{2\pi}{4} b$;
г) $P_x = \rho g h \frac{\pi r^2}{4}$; д) $P_x = \rho g \frac{h}{2} \frac{\pi r^2}{4}$.

2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ є таким:

- а) 39,24 кН; б) 61,61 кН; в) 9,81 кН;
г) 19,62 кН; д) 30,80 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.20):

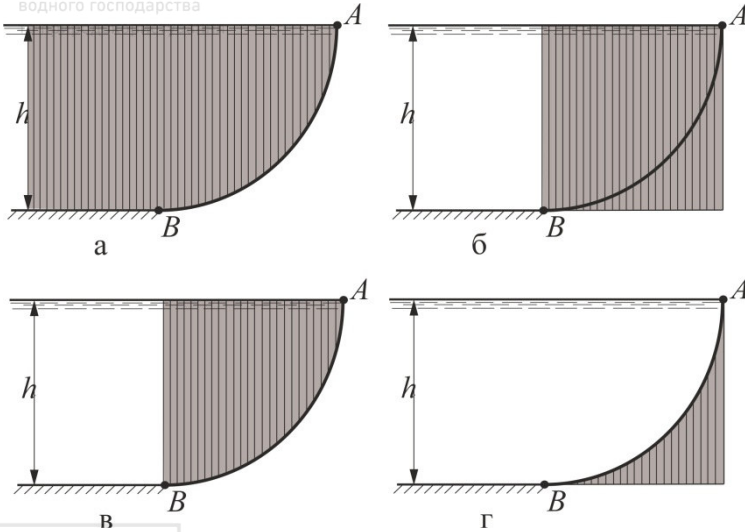


Рис. 3.20. Схема до п. 3–8.3

4. Вертикальна складова P_z сили тиску P на АВ визначається за формулою:

а) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{8} \right) b;$

б) $P_z = \rho g \left(h^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) b;$

в) $P_z = \rho g \frac{\pi r^2}{4} b;$

г) $P_z = \rho g h^2 b.$

5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на АВ є таким:

а) 9,81 кН; б) 19,62 кН; в) 61,61 кН;

г) 30,80 кН; д) 39,24 кН.

6. Рівнодіюча сила тиску P на поверхню АВ дорівнює:

а) 36,52 кН; б) 42,18 кН; в) 48,18 кН;

г) 52,17 кН; д) 56,78 кН.



7. Точка D — центр тиску. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрямок дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню AB (рис. 3.21):

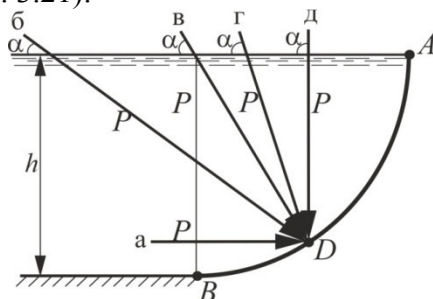


Рис. 3.21. Схема до п. 3–8.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) 0° ; б) $57,5^\circ$; в) $46,3^\circ$; г) $34,2^\circ$; д) 90° .

9. Якими є координати x , z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.22):

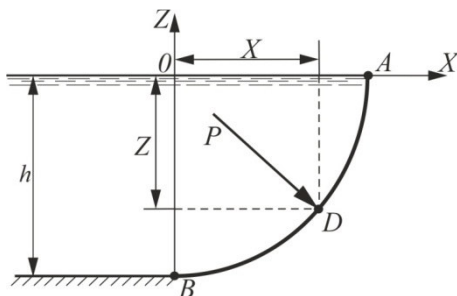


Рис. 3.22. Схема до п. 3–8.9

Координата x дорівнює:

- а) $x = 1,76$ м; б) $x = 1,65$ м; в) $x = 1,38$ м; г) $x = 1,07$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = -1,81$ м; б) $z = -1,67$ м; в) $z = -1,45$ м; г) $z = -1,12$ м.



3–9. На криволінійну циліндричну поверхню АВ радіуса $r = 2,0$ м і довжиною $b = 1,0$ м діє вода ($\rho = 1000$ кг/м³), глибиною $h = 4,0$ м (рис. 3.23).

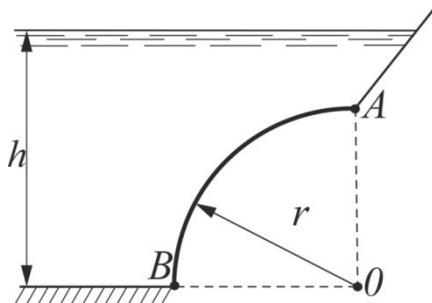


Рис. 3.23. Схема до п. 3–9

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на АВ визначиться за формулою:

а) $P_x = \rho g \left(h - \frac{r}{2} \right) br$; б) $P_x = \rho g h br$; в) $P_x = \rho g \frac{h}{2} br$;

г) $P_x = \rho g \left(h - \frac{r}{2} \right) \frac{\pi r^2}{4}$; д) $P_x = \rho g \left(\frac{h-r}{2} \right) br$.

2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ є таким:

а) 92,41 кН; б) 78,48 кН; в) 39,24 кН;
г) 58,86 кН; д) 19,62 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.24):

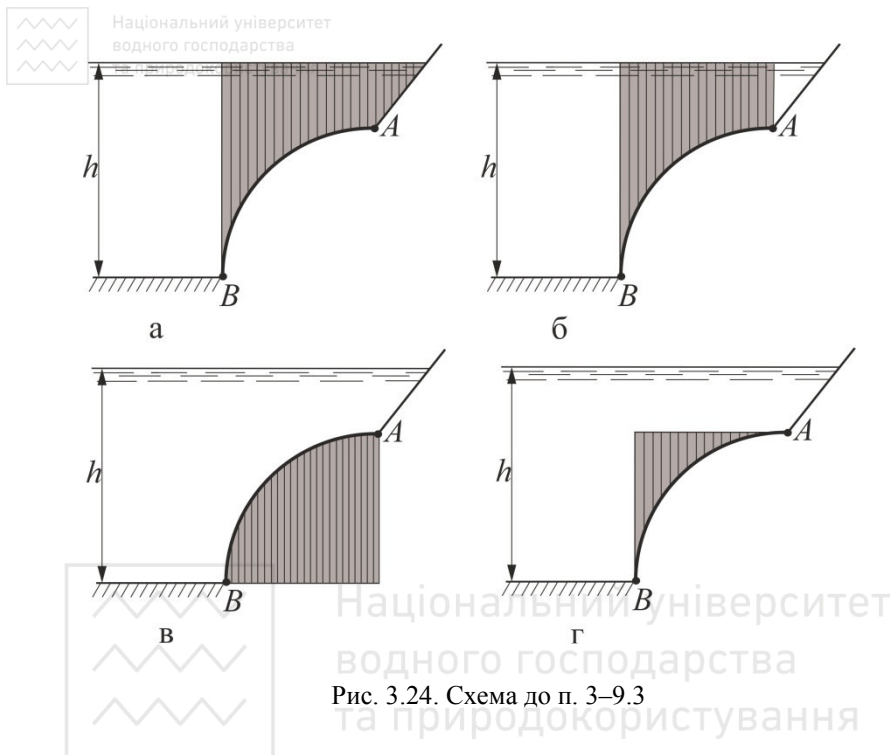


Рис. 3.24. Схема до п. 3–9.3

4. Вертикальна складова P_z сили тиску P на АВ визначить-ся за формулою:

а) $P_z = \rho g \frac{\pi r^2}{4} b$;

б) $P_z = \rho g \left(hr - \frac{\pi r^2}{4} \right) b$;

в) $P_z = \rho g h r b$;

г) $P_z = \rho g \left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) b$.

5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску на АВ є таким:

- а) 8,44 кН; б) 78,48 кН; в) 47,68 кН;
г) 16,88 кН; д) 30,80 кН.

6. Рівнодіюча сила тиску P на поверхню АВ дорівнює:

- а) 36,52 кН; б) 42,18 кН; в) 52,17 кН;
г) 75,75 кН; д) 92,79 кН.



7. Точка D – центр тиску. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрямок дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню AB (рис. 3.25):

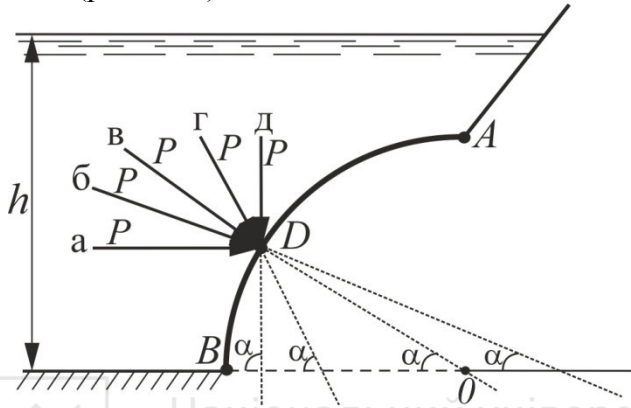


Рис. 3.25. Схема до п. 3–9.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) 0° ; б) $18,4^\circ$; в) $39,0^\circ$; г) $50,9^\circ$; д) 90° .

9. Якими є координати x , z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.26):

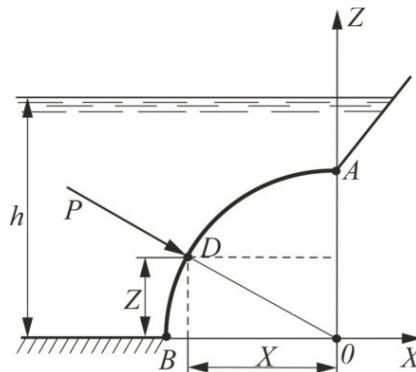


Рис. 3.26. Схема до п. 3–9.9



Координата x дорівнює:

- а) $x = -1,95$ м; б) $x = -1,90$ м; в) $x = -1,56$ м; г) $x = -1,26$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = 0,64$ м; б) $z = 1,0$ м; в) $z = 1,26$ м; г) $z = 1,56$ м.

3–10. Вальцовий затвор, діаметром $d = 2,0$ м затримує воду ($\rho = 1000$ кг/м³), глибиною $h = 4,0$ м. Довжина затвора $b = 1,0$ м (рис. 3.27).

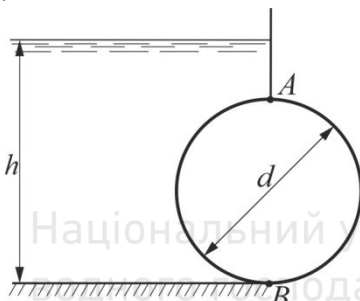


Рис. 3.27. Схема до п. 3–10

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на затвор визначиться за формулою:

- а) $P_x = \rho g h d b$; б) $P_x = \rho g \frac{h-d}{2} d b$; в) $P_x = \rho g h \frac{\pi d^2}{4}$;
г) $P_x = \rho g \left(h - \frac{d}{2} \right) \frac{\pi d^2}{8}$; д) $P_x = \rho g \left(h - \frac{d}{2} \right) d b$.

2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ є таким:

- а) 123,2 кН; б) 78,48 кН; в) 46,21 кН;
г) 58,86 кН; д) 19,62 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.28):

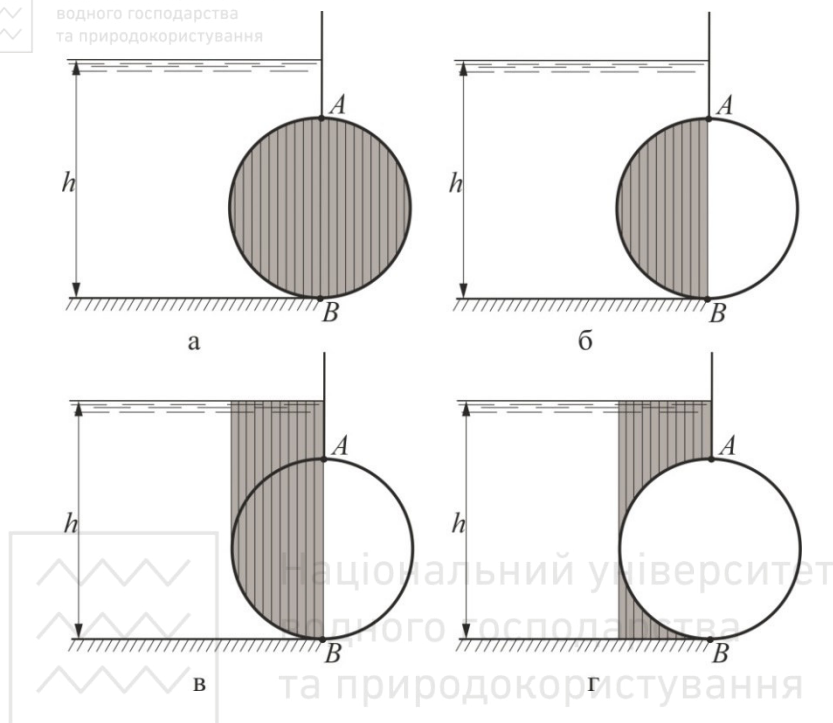


Рис. 3.28. Схема до п. 3–10.3

4. Вертикальна складова P_z сили тиску P на затвор визначиться за формулою:

$$\begin{aligned} \text{а) } P_z &= \rho g \frac{\pi d^2}{4} b; & \text{б) } P_z &= \rho g \left[\left(h - \frac{d}{2} \right) \frac{d}{2} + \frac{\pi d^2}{16} \right] b; \\ \text{в) } P_z &= \rho g \frac{\pi d^2}{8} b; & \text{г) } P_z &= \rho g \left[h \frac{d}{2} - \frac{\pi d^2}{8} \right] b. \end{aligned}$$

5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на АВ є таким:

- а) 30,80 кН; б) 19,62 кН; в) 37,13 кН;
г) 15,40 кН; д) 23,84 кН.



6. Рівнодіюча сила тиску P на затвор дорівнює:

- а) 50,12 кН; б) 60,84 кН; в) 67,16 кН;
г) 71,20 кН; д) 77,18 кН.

7. Якою літерою (а, б, в, г) правильно зображено напрямок дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.29):

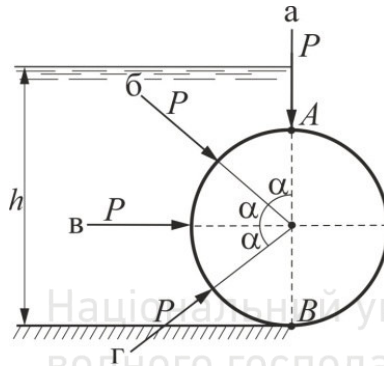


Рис. 3.29. Схема до п. 3–10.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) 0° ; б) 90° ; в) 45° ; г) $29,2^\circ$; д) $14,7^\circ$.

9. Якими є координати x , z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.30):

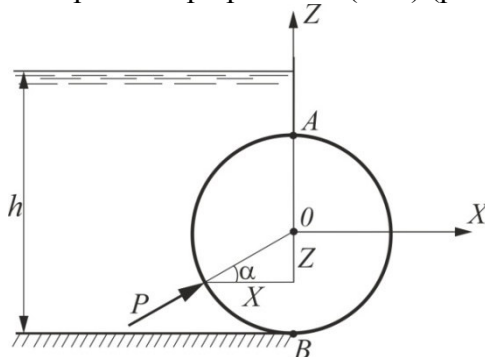


Рис. 3.30. Схема до п. 3–10.9



Координата x дорівнює:

- а) $x = -1,0$ м; б) $x = -0,97$ м; в) $x = -0,87$ м; г) $x = -0,71$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = -0,71$ м; б) $z = -0,49$ м; в) $z = -0,25$ м; г) $z = -0,13$ м.

3–11. Отвір у стінці резервуару закритий напівсферичною кришкою АВ радіуса $r = 1,0$ м. Глибина занурення верху отвору $h = 2,0$ м. Глибина води ($\rho = 1000$ кг/м³) в резервуарі $H = 5,0$ м (рис. 3.31).

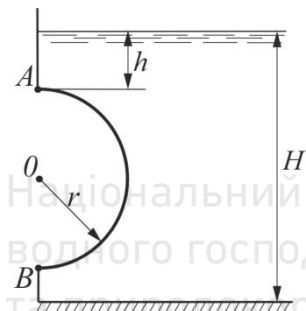


Рис. 3.31. Схема до п. 3–11

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на кришку визначиться за формулою:

а) $P_x = \rho g r \pi r^2$; б) $P_x = \rho g \frac{H}{2} \pi r^2$; в) $P_x = \rho g (h + r) \frac{\pi r^2}{2}$;

г) $P_x = \rho g \frac{h + r}{2} \pi r^2$; д) $P_x = \rho g (h + r) \pi r^2$.

2. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на АВ є таким:

- а) 77,0 кН; б) 30,80 кН; в) 46,21 кН;
г) 92,41 кН; д) 46,21 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.32):

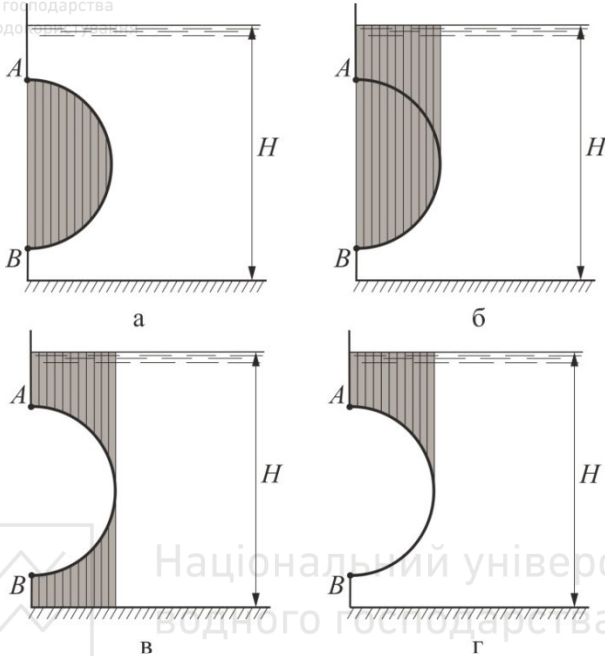


Рис. 3.32. Схема до п. 3–11.3

4. Вертикальна складова P_z сили тиску P на кришку АВ визначиться за формулою:

а) $P_z = \rho g \frac{2}{3} \pi r^3$; б) $P_z = \rho g H \pi r^2$; в) $P_z = \rho g \frac{4}{3} \pi r^3$;

г) $P_z = \rho g \pi r^2 r$; д) $P_z = \rho g \left(Hr - \frac{\pi r^2}{2} \right) 2r$.

5. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на АВ є таким:

а) 30,80 кН; б) 41,08 кН; в) 67,30 кН;
г) 20,54 кН; д) 154,0 кН.

6. Рівнодіюча сила тиску P на кришку АВ дорівнює:

а) 63,18 кН; б) 72,14 кН; в) 84,18 кН;
г) 94,66 кН; д) 102,04 кН.



7. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрям дії рівнодіючої сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.33):

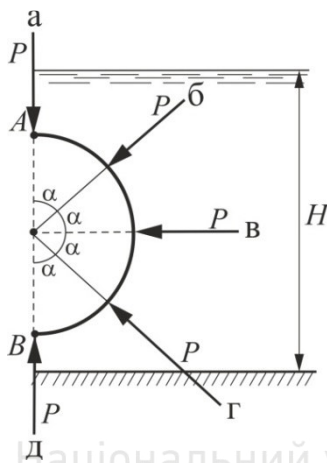


Рис. 3.33. Схема до п. 3–11.7

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) 90° ; б) 45° ; в) $26,3^\circ$; г) $12,4^\circ$; д) 0° .

9. Якщо кришка шарнірно закріплена в т. В і болтом в т. А, то зусилля T , що сприймається болтом (рис. 3.34), визначиться з виразу:

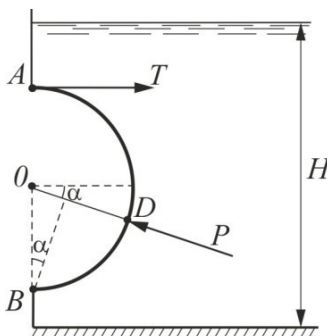


Рис. 3.34. Схема до п. 3–11.9



а) $P = T$; б) $T = P \cos \alpha$; в) $T = P \sin \alpha$;

г) $T = \frac{1}{2} P \sin \alpha$; д) $T = \frac{1}{2} P \cos \alpha$.

10. Величина зусилля T дорівнює:

а) 10,18 кН; б) 20,35 кН; в) 46,38 кН;

г) 92,77 кН; д) 94,66 кН.

11. Координати центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.35) є такими:

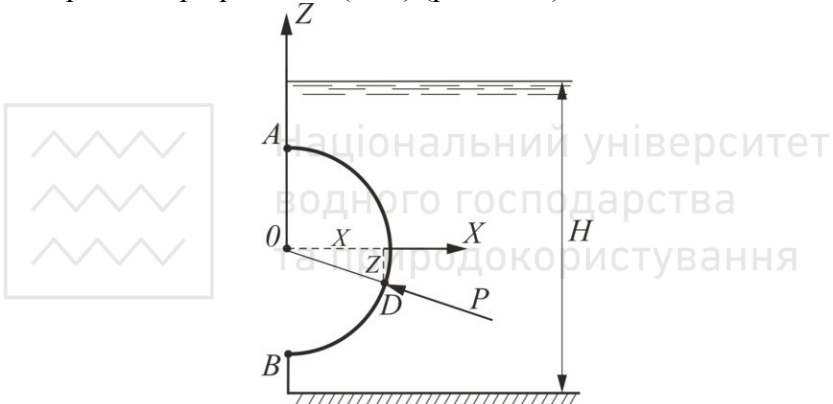


Рис. 3.35. Схема до п. 3-11.11

Координата x дорівнює:

а) $x = 0,98$ м; б) $x = 0,90$ м; в) $x = 0,71$ м; г) $x = 0,50$ м.

Координата z дорівнює:

а) $z = -0,71$ м; б) $z = -0,22$ м; в) $z = -0,44$ м; г) $z = -0,50$ м.

3-12. Отвір радіусом $R = 1,0$ м у вертикальній стінці резервуара, заповненого водою ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$), закритий напівсферичною кришкою АВ. Манометричний тиск на поверхні води p_0 . Показання п'єзометра $h_n = 4,0$ м (рис. 3.36).

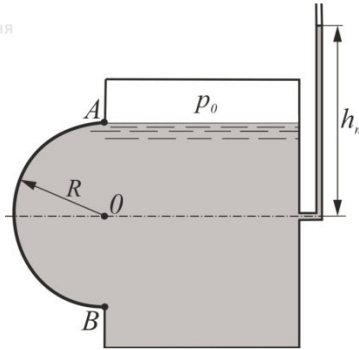


Рис. 3.36. Схема до п. 3–12

1. Манометричний тиск p_0 на поверхні води в резервуарі визначиться з виразу:

- а) $p_0 = p_{\text{атм}}$; б) $p_0 = \rho g h_n$; в) $p_0 = \rho g h_n + p_{\text{атм}}$;
г) $p_0 = \rho g (h_n - R)$; д) $p_0 = \rho g (h_n - R) + p_{\text{атм}}$.

2. Значення манометричного тиску p_0 є таким:

- а) 9,81 кПа; б) 29,43 кПа; в) 39,24 кПа;
г) 98,1 кПа; д) 127,53 кПа.

3. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на кришку визначиться за формулою:

- а) $P_x = \rho g R \frac{\pi R^2}{2}$; б) $P_x = \rho g R \pi R^2$; в) $P_x = \rho g h_n \pi R^2$;
г) $P_x = \rho g h_n \frac{\pi R^2}{2}$; д) $P_x = (p_0 + \rho g R) \frac{\pi R^2}{2}$.

4. Значення горизонтальної складової P_x сили тиску P на поверхню АВ є таким:

- а) 30,8 кН; б) 66,1 кН; в) 123,2 кН;
г) 15,4 кН; д) 9,81 кН.



5. Якою літерою (а, б, в, г, д) правильно зображено напрямок та розташування горизонтальної складової P_x сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.37):

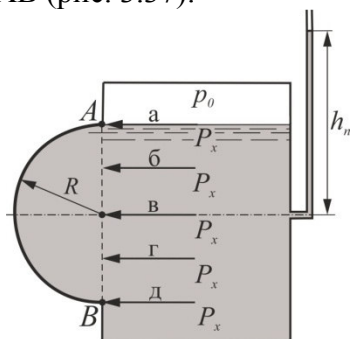


Рис. 3.37. Схема до п. 3–12.5

6. У якому варіанті (а, б, в, г) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.38):

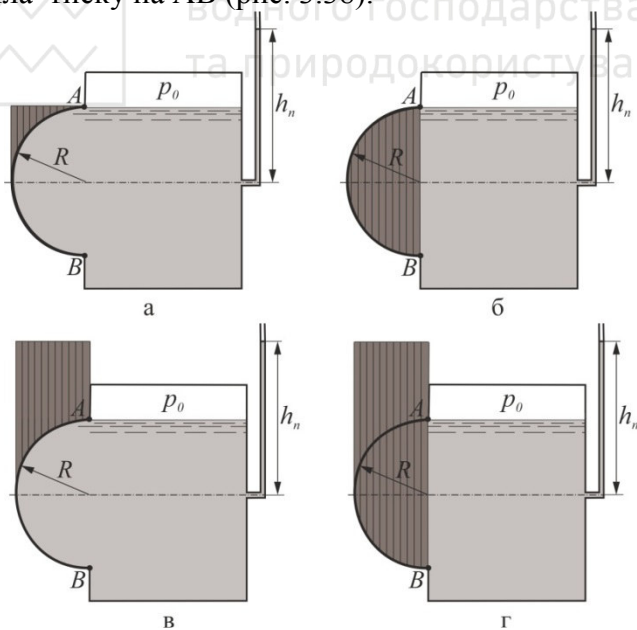


Рис. 3.38. Схема до п. 3–12.6



7. Вертикальна складова P_z сили тиску P на поверхню АВ визначиться за формулою:

а) $P_z = \rho g \frac{4}{3} \pi R^3$; б) $P_z = \rho g \frac{2}{3} \pi R$; в) $P_z = \rho g \frac{\pi R^2}{2} R$;

г) $P_z = \rho g (R h_n + \frac{1}{4} \pi R^2) R$; д) $P_z = \rho g (R h_n - \frac{1}{4} \pi R^2) R$.

8. Значення вертикальної складової P_z сили тиску P на поверхню АВ є таким:

а) 15,4 кН; б) 20,54 кН; в) 31,54 кН;

г) 41,07 кН; д) 46,94 кН.

9. Як напрямлена вертикальна складова P_z сили тиску на P поверхню АВ:

а) угору;

б) вниз.

10. Результируюча сила тиску P на кришку АВ дорівнює:

а) 37,1 кН; б) 69,2 кН; в) 80,4 кН;

г) 110,7 кН; д) 124,9 кН.

11. Якою літерою (а, б, в, г) правильно зображено напрямок та розташування рівнодіючої сили тиску P на поверхню АВ (рис. 3.39):

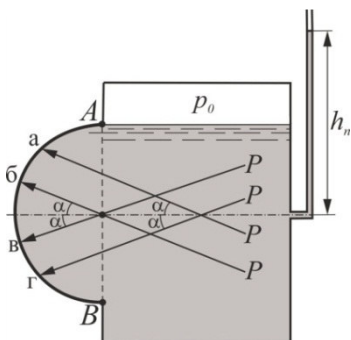


Рис. 3.39. Схема до п. 3–12.11



12. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю є таким:

- а) $9,5^\circ$; б) $14,3^\circ$; в) $18,7^\circ$;
г) $26,5^\circ$; д) 30° .

3–13. Круглий отвір радіусом R перекритий напівсферичною кришкою АВ. На поверхні води ($\rho=1000 \text{ кг/м}^3$) у закритому резервуарі тиск p_0 (рис. 3.40).

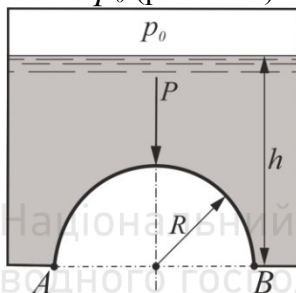


Рис. 3.40. Схема до п. 3–13

1. Яке розташування рівня води у п'єзометрі є правильним (варіанти а, б, в, г), якщо значення абсолютного тиску $p_0 = 78,48 \text{ кПа}$ (рис. 3.41):

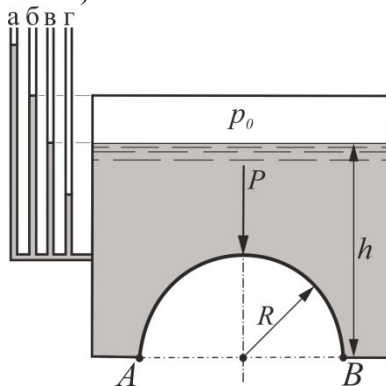


Рис. 3.41. Схема до п. 3–13.1

2. У якому варіанті (а, б, в, г, д) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.42):

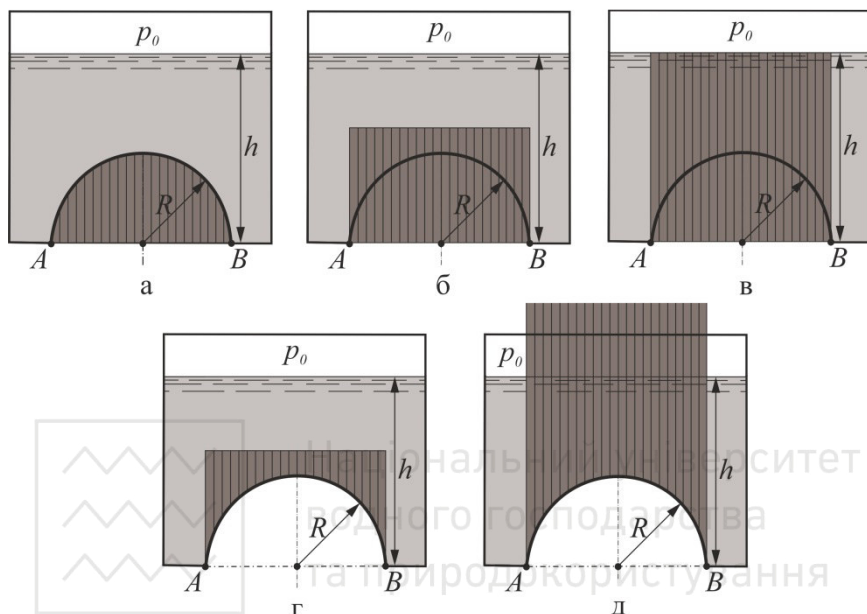


Рис. 3.42. Схема до п. 3–13.2

3. Об'єм тіла тиску визначиться з виразу:

$$\begin{aligned}
 \text{а) } & \pi R^2 \left(h + \frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} \right); & \text{б) } & \frac{2}{3} \pi R^3; \\
 \text{в) } & \pi R^2 \left(h + \frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} \right) - \frac{2}{3} \pi R^3; \\
 \text{г) } & \pi R^2 \left(h + \frac{p_{0abc}}{\rho g} \right) - \frac{2}{3} \pi R^3; & \text{д) } & \pi R^2 h.
 \end{aligned}$$

4. Якщо $R = 1$ м, $h = 5$ м, то значення об'єму тіла тиску становить:



- а) $2,09 \text{ м}^3$; б) $7,33 \text{ м}^3$; в) $9,42 \text{ м}^3$;
г) $15,7 \text{ м}^3$; д) $38,73 \text{ м}^3$.

5. Сила гідростатичного тиску P , яка діє на кришку, дорівнює:

- а) $71,9 \text{ кН}$; б) $92,4 \text{ кН}$; в) $379,94 \text{ кН}$;
г) $154,02 \text{ кН}$; д) $20,5 \text{ кН}$.

3–14. Закритий резервуар з водою ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$), на поверхні якої тиск p_0 має криволінійну циліндричну поверхню АВ радіуса $r=2 \text{ м}$ і шириною $b=1 \text{ м}$. Верхня частина поверхні (т. А) занурена на глибину $h=2 \text{ м}$ (рис. 3.43).

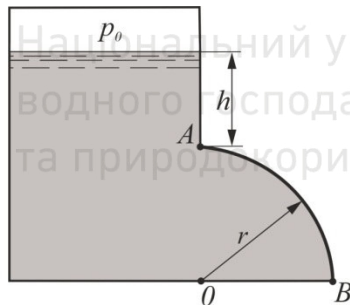


Рис. 3.43. Схема до п. 3–14

А. Абсолютний тиск на поверхні води $p_{0 \text{ аБС}} = 117,72 \text{ кПа}$:

1. Горизонтальна складова P_x сили тиску P на АВ визначається за формулою:

- а) $P_x = \left(p_0 + \rho g \left(h + \frac{r}{2} \right) \right) r \cdot b$; б) $P_x = \rho g \left(h + \frac{r}{2} \right) r \cdot b$;
в) $P_x = \left(p_0 + \rho g \left(h + \frac{r}{2} \right) \right) \frac{\pi r^2}{4}$; г) $P_x = \left(p_0 + \rho g \left(h + \frac{r}{2} \right) \right) \frac{2\pi r}{4} \cdot b$.



2. Значення горизонтальної складової P_x сили манометричного тиску P на АВ є таким:

- а) 294,3 кН; б) 58,86 кН; в) 98,1 кН;
г) 154,0 кН; д) 39,24 кН.

3. У якому варіанті (а, б, в, г) розташування рівня води у п'єзометрі є правильним (рис. 3.44):

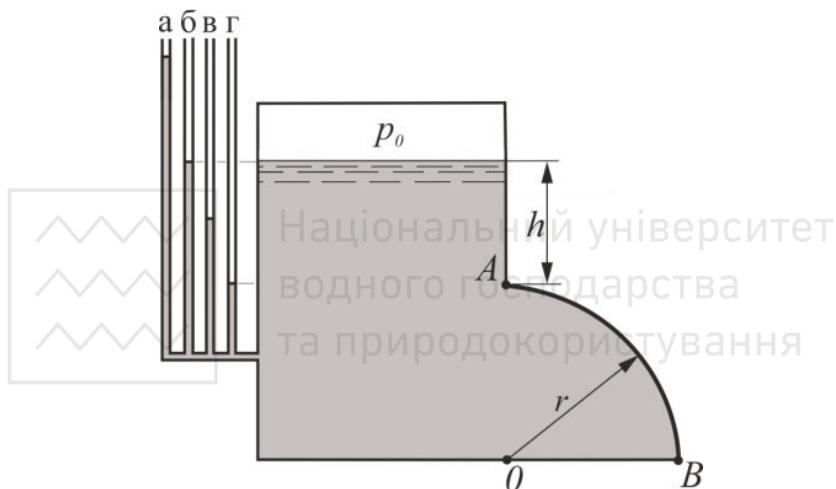


Рис. 3.44. Схема до п. 3–14.3

- а) а; б) б; в) в; г) г.

4. У якому варіанті (а, б, в, г, д) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.45):

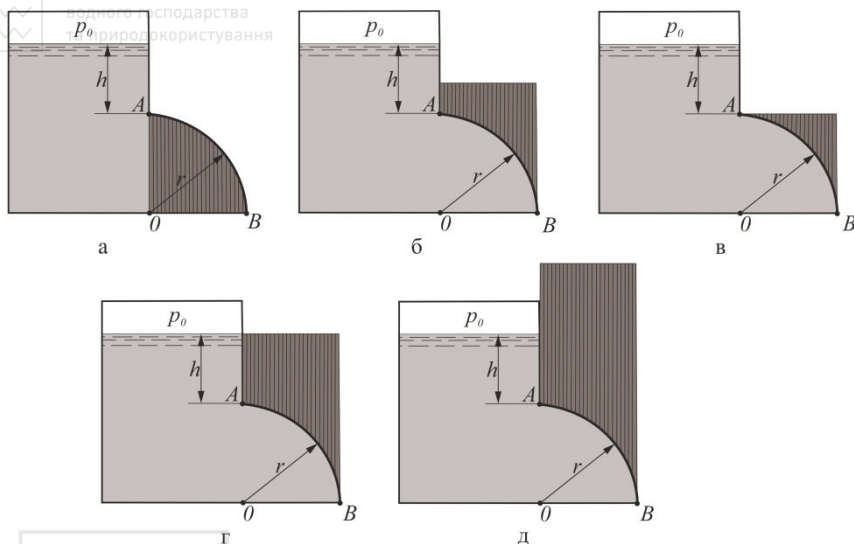


Рис. 3.45. Схема до п. 3–14.4

5. Об'єм тіла тиску визначиться з виразу:

а) $\frac{\pi r^2}{4} b$; б) $\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right) b$; в) $\left[(h+r)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$;
 г) $\left[\left(\frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$; д) $\left[\left(\frac{p_{0abc}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$.

6. Значення об'єму тіла тиску:

а) $3,14 \text{ м}^3$; б) $0,86 \text{ м}^3$; в) $4,86 \text{ м}^3$;
 г) $2,86 \text{ м}^3$; д) $8,86 \text{ м}^3$.

7. Значення вертикальної складової P_Z сили манометричного тиску P на АВ:

а) $8,44 \text{ кН}$; б) $28,06 \text{ кН}$; в) $30,8 \text{ кН}$;
 г) $47,68 \text{ кН}$; д) $86,92 \text{ кН}$.



8. Рівнодіюча сила манометричного тиску P на поверхню АВ дорівнює:

- а) 98,46 кН; б) 102,82 кН; в) 131,07 кН;
г) 109,07 кН; д) 102,03 кН.

Б. Абсолютний тиск на поверхні води $p_{0abc} = 98,1$ кПа:

1. Значення горизонтальної складової P_x сили манометричного тиску P на АВ є таким (використати відповіді п. А.1):

- а) 294,3 кН; б) 58,86 кН; в) 98,1 кН;
г) 154,0 кН д) 39,24 кН.

2. У якому варіанті (а, б, в, г) розташування рівня води у п'єзометрі є правильним (рис. 3.44):

- а) а; б) б; в) в; г) г.

3. У якому варіанті (а, б, в, г, д) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.45):

- а) а; б) б; в) в; г) г; д) д.

4. Об'єм тіла тиску визначиться з виразу:

а) $\frac{\pi r^2}{4} b$;

б) $\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) b$;

в) $\left[(h+r)r - \frac{\pi r^2}{4} \right] b$;

г) $\left[\left(\frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} + h + r \right) r - \frac{\pi r^2}{4} \right] b$;

д) $\left[\left(\frac{p_{0abc}}{\rho g} + h + r \right) r - \frac{\pi r^2}{4} \right] b$.



5. Значення об'єму тіла тиску є таким:

- а) $3,14 \text{ м}^3$; б) $0,86 \text{ м}^3$; в) $4,86 \text{ м}^3$;
г) $2,86 \text{ м}^3$; д) $8,86 \text{ м}^3$.

6. Значення вертикальної складової P_Z сили манометричного тиску P на АВ є таким:

- а) $8,44 \text{ кН}$; б) $28,06 \text{ кН}$; в) $30,8 \text{ кН}$;
г) $47,68 \text{ кН}$; д) $86,92 \text{ кН}$.

7. Рівнодіюча сила манометричного тиску P на поверхню АВ дорівнює:

- а) $60,29 \text{ кН}$; б) $67,24 \text{ кН}$; в) $75,74 \text{ кН}$;
г) $98,46 \text{ кН}$; д) $102,03 \text{ кН}$.

В. Абсолютний тиск на поверхні води $p_{0\text{абс}} = 88,29 \text{ кПа}$:

1. Значення горизонтальної складової P_x сили манометричного тиску P на АВ є таким (використати відповіді п. А.1):

- а) $294,3 \text{ кН}$; б) $58,86 \text{ кН}$; в) $98,1 \text{ кН}$;
г) $154,0 \text{ кН}$; д) $39,24 \text{ кН}$.

2. У якому варіанті (а, б, в, г) розташування рівня води у п'єзометрі є правильним (рис. 3.44):

- а) a ; б) b ; в) v ; г) z .

3. У якому варіанті (а, б, в, г, д) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.45):

- а) a ; б) b ; в) v ; г) z ; д) d .

4. Об'єм тіла тиску визначиться з виразу:



а) $\frac{\pi r^2}{4} b$; б) $\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right) b$; в) $\left[(h+r)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$;
г) $\left[\left(\frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$; д) $\left[\left(\frac{p_{0abc}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$.

5. Значення об'єму тіла тиску є таким:

- а) $3,14 \text{ м}^3$; б) $0,86 \text{ м}^3$; в) $4,86 \text{ м}^3$;
г) $2,86 \text{ м}^3$; д) $8,86 \text{ м}^3$.

6. Значення вертикальної складової P_Z сили манометричного тиску P на АВ є таким:

- а) $8,44 \text{ кН}$; б) $28,06 \text{ кН}$; в) $30,8 \text{ кН}$;
г) $47,68 \text{ кН}$; д) $86,92 \text{ кН}$.

7. Рівнодіюча сила манометричного тиску P на поверхню АВ дорівнює:

- а) $40,12 \text{ кН}$; б) $48,24 \text{ кН}$; в) $75,74 \text{ кН}$;
г) $102,03 \text{ кН}$; д) $131,07 \text{ кН}$.

Г. Абсолютний тиск на поверхні води $p_{0abc} = 78,48 \text{ кПа}$:

1. Значення горизонтальної складової P_x сили манометричного тиску P на АВ є таким (використати відповіді п. А.1):

- а) $11,43 \text{ кН}$; б) $58,86 \text{ кН}$; в) $19,62 \text{ кН}$;
г) $58,86 \text{ кН}$; д) $39,24 \text{ кН}$.

2. У якому варіанті (а, б, в, г) розташування рівня води у п'єзометрі є правильним (рис. 3.44):

- а) а; б) б; в) в; г) г.

3. У якому варіанті (а, б, в, г, д) заштрихована фігура є перерізом тіла тиску на АВ (рис. 3.45):

- а) а; б) б; в) в; г) г; д) д.



4. Об'єм тіла тиску визначиться з виразу:

а) $\frac{\pi r^2}{4} b$; б) $\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right) b$; в) $\left[(h+r)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$;

г) $\left[\left(\frac{p_{0abc} - p_{атм}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$; д) $\left[\left(\frac{p_{0abc}}{\rho g} + h + r\right)r - \frac{\pi r^2}{4}\right] b$.

5. Значення об'єму тіла тиску є таким:

а) 3,14 м³; б) 0,86 м³; в) 4,86 м³;
г) 2,86 м³; д) 8,86 м³.

6. Значення вертикальної складової P_z сили манометричного тиску P на АВ є таким:

а) 8,44 кН; б) 28,06 кН; в) 30,8 кН;
г) 47,68 кН; д) 86,92 кН.

7. Рівнодіюча сила манометричного тиску P на поверхню АВ дорівнює:

а) 60,29 кН; б) 67,24 кН; в) 75,74 кН;
г) 18,46 кН д) 21,36 кН.

8. Значення кута α між рівнодіючою силою P та горизонталлю, який визначається з виразу $\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x}$, є таким:

а) 69°; б) 45°; в) 26,3°; г) 23,3°; д) 18,4°.

9. Яка точка є центром тиску рівнодіючої сили P на поверхню АВ (рис. 3.46):

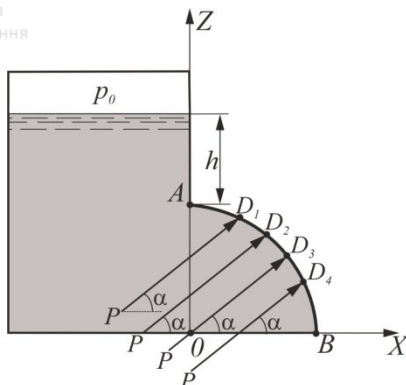


Рис. 3.46. Схема до п. 3–14.9

- а) D_1 ; б) D_2 ; в) D_3 ; г) D_4 .

10. Якими є координати x , z центра тиску (т. D) відносно осей, проведених через центр кривизни (т. O) (рис. 3.46):

Координата x дорівнює:

- а) $x = 1,0$ м; б) $x = 0,97$ м; в) $x = 1,84$ м; г) $x = 1,71$ м.

Координата z дорівнює:

- а) $z = 0,71$ м; б) $z = 0,80$ м; в) $z = 0,95$ м; г) $z = 1,13$ м.

Відповіді до розділу 3:

- | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 3–6.6. 21,36 кН; | 3–6.9. $x = 1,84$ м; | 3–7.5. 8,44 кН; |
| 3–7.10. 19,62 кН; | 3–8.2. 19,62 кН; | 3–8.8. $57,5^\circ$; |
| 3–9.6. 75,75 кН; | 3–9.9. $z = 1,26$ м; | 3–10.6. 60,84 кН; |
| 3–10.8. $14,7^\circ$; | 3–11.5. 20,54 кН; | 3–11.11. $z = 0,22$ м; |
| 3–12.2. 29,43 кПа; | 3–12.8. 20,54 кН; | 3–13.4. $7,33 \text{ м}^3$; |
| 3–14.A.7. 86,92 кН; | 3–14.B.7. 75,74 кН; | 3–14.B.5. $2,86 \text{ м}^3$. |
| 3–14.Г.5. $0,86 \text{ м}^3$; | 3–14.Г.10. $x = 1,84$ м; | |



При розгляді питання про плавання тіл визначають їх плавучість і остійність.

Плавучість – здатність тіла плавати при заданому навантаженні і обумовленому зануренні.

Умовою плавання є співвідношення:

$$G = P_{арх},$$

де $G = mg$ – вага тіла. Вона прикладена в центрі ваги тіла.

$P_{арх}$ – виштовхувальна (архімедова) сила, яка напрямлена вгору і, за законом Архімеда, дорівнює вазі рідини, що витіснена тілом:

$$P_{арх} = \rho g W.$$

W – об'єм зануреної частини тіла, який називають *об'ємом водотоннажності*. В центрі об'єму водотоннажності прикладена сила $P_{арх}$.

Відстань між центром ваги і центром об'єму водотоннажності називають *ексцентриситетом* – e .

При крені тіла (*крен* – кут відхилення вертикальної осі плавання) об'єм водотоннажності змінює свою форму і центр водотоннажності займає інше положення. Точка перетину лінії дії виштовхувальної сили з віссю плавання називають *метацентром*.

При малих кренах (до 15°) переміщення центру об'єму водотоннажності відбувається по дузі (центром обертання є метацентр) радіуса ρ , який називають *метацентричним радіусом*

і визначають за формулою $\rho = \frac{I_0}{W}$, де I_0 – момент інерції площі плавання відносно поздовжньої осі.

При крені тіла сили G і $P_{арх}$ утворюють пару сил, які діють на плаваюче тіло.



Остійність — це здатність плаваючого тіла повертатись на початкове положення рівноваги після припинення дії сил, які вивели його з цього стану.

Якщо момент названих сил повертає тіло після крену в початкове положення, плавання тіла є остійним.

Плаваюче тіло не має статичної остійності, якщо сили G і $P_{арх}$ утворюють перекидний момент.

Умову статичної остійності можна записати у вигляді: $m > 0$, де m — метacentрична висота, що визначається за формулою $m = \rho - e$.

4–1. Клапан K у трубі з водою, що знаходиться під манометричним тиском p , закривається при горизонтальному положенні важеля (рис. 4.1).

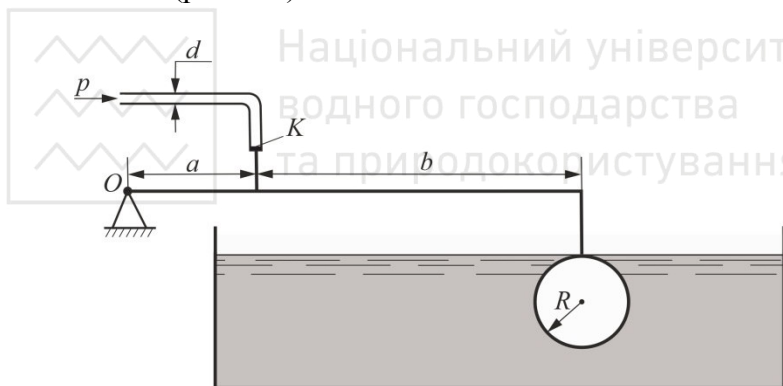


Рис. 4.1. Схема до п. 4–1

1. Сила, яка діє на порожнисту кулю радіуса R (архімедова сила) $P_{арх}$, визначиться з виразу:

а) $\rho g \frac{4}{3} \pi R^3$; б) $\rho g \frac{2}{3} \pi R^3$; в) $\rho g \frac{3}{4} \pi R^3$; г) $\rho g \frac{3}{2} \pi R^3$.

2. Якщо сила манометричного тиску води у трубі на клапан P , то рівняння рівноваги системи відносно т. О при пле-



чах важеля a та b буде таким (нехтуючи вагою кулі і важеля):

а) $P_{арх} (a + b) = P a$; б) $P_{арх} b = P a$; в) $P_{арх} a = P (a+b)$.

3. Якщо трубопровід радіуса r , то манометричний тиск p може бути знайдений з виразу:

а) $\rho g \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3}{r^2} \cdot \frac{a+b}{a}$; б) $\rho g \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3}{r^2} \cdot \frac{a}{b}$;

в) $\rho g \frac{3}{4} \cdot \frac{R^3}{r^2} \cdot \frac{a}{a+b}$; г) $\rho g \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3}{r^2} \cdot \frac{b}{a+b}$.

4. Радіус порожнистої кулі $R = 300$ мм, радіус труби $r = 50$ мм, плечі важеля $a = 20$ см, $b = 80$ см. Значення манометричного тиску p є таким:

а) 15,9 кПа; б) 35,3 кПа; в) 113,2 кПа; г) 706,1 кПа.

5. Об'єм кулі, визначений за умови, щоб клапан закривався при манометричному тиску у трубопроводі p_m , може бути знайдений з виразу:

а) $\frac{p_m \cdot \pi \cdot r^2}{\rho g} \cdot \frac{a+b}{a}$; б) $\frac{p_m \cdot \pi \cdot r^2}{\rho g} \cdot \frac{a}{a+b}$;

в) $\frac{p_m \cdot r^2}{\rho g} \cdot \frac{a+b}{a}$; г) $\frac{p_m \cdot \pi \cdot r^2}{\rho g}$.

6. Якщо манометричний тиск у трубопроводі $p_m = 209,3$ кПа, то об'єм кулі, при якому система залишиться у рівновазі, повинен бути таким:

а) $0,0042 \text{ м}^3$; б) $0,0335 \text{ м}^3$; в) $0,0654 \text{ м}^3$; г) $0,1130 \text{ м}^3$.

7. Необхідному об'єму кулі відповідає радіус кулі R :

а) 300 мм; б) 250 мм; в) 200 мм; г) 100 мм.



4–2. Кульовий клапан діаметром D і вагою G перекриває отвір трубопроводу діаметром d (рис. 4.2).

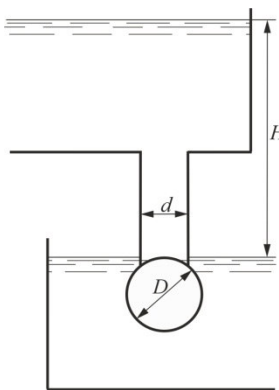


Рис. 4.2. Схема до п. 4–2

1. Сила тиску P , що діє на клапан з боку води у верхньому резервуарі, визначиться з виразу:

- а) $\rho g H \cdot 0,785 D^2$; б) $\rho g H \cdot 0,785 d^2$;
в) $\rho g H \cdot d^2$; г) $\rho g H \cdot D^2$.

2. Архімедова сила $P_{арх}$, що діє на клапан, може бути знайдена з виразу:

- а) $\rho g \frac{\pi D^3}{6}$; б) $\rho g \frac{\pi D^3}{12}$; в) $\rho g H \cdot 0,785 D^2$; г) $\rho g H \cdot D^2$.

3. Умова стану рівноваги:

- а) $G + P = P_{арх}$; б) $G = P_{арх} + P$; в) $P = P_{арх} + G$.

4. Клапан почне пропускати воду у нижній резервуар при різниці рівнів H , яка знайдеться з виразу:

- а) $\frac{\left(\rho g \frac{\pi D^3}{6} - G\right) \cdot 4}{\rho g \pi d^2}$; б) $\frac{\left(\rho g \frac{\pi D^3}{6} + G\right) \cdot 4}{\rho g \pi d^2}$;
в) $\frac{\left(\rho g \frac{D^3}{6} - G\right) \cdot 4}{\rho g d^2}$; г) $\frac{\left(\rho g \frac{\pi D^3}{6} - G\right)}{\rho g \pi d^2}$.



5. Якщо кульовий клапан діаметром $D = 0,35$ м має вагу $G = 4,905$ Н, а діаметр отвору трубопроводу $d = 0,15$ м, то різниця рівнів H повинна бути такою:

- а) 0,31 м; б) 1,24 м; в) 1,42 м; г) 3,89 м.

4–3. Глибина занурення h ареометра, який складається із заповненої дробом скляної кульки діаметром D і приєднаної до неї трубки діаметром d , визначається густиною рідини, в яку занурений прилад (рис. 4.3).

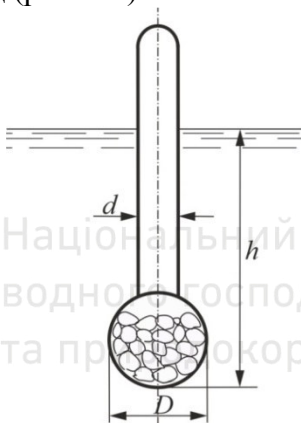


Рис. 4.3. Схема до п. 4–3

1. Об'єм рідини W , який виштовхує ареометр, визначить-ся з виразу:

- а) $\frac{\pi D^3}{6} + \frac{\pi d^2}{4}(h-D)$; б) $\frac{\pi D^3}{12} + \frac{\pi d^2}{4}(h-D)$;
в) $\frac{\pi D^3}{6} + \frac{\pi d^2}{4}h$; г) $\frac{\pi D^3}{6}$.

2. При значеннях $D = 20$ мм, $d = 10$ мм, $h = 80$ мм об'єм W буде таким:

- а) 4,19 см³; б) 6,81 см³; в) 8,17 см³; г) 8,90 см³.



3. Густина рідини, в яку занурений ареометр, масою

$m = 0,01$ кг, знайдеться з виразу $\rho = \frac{m}{W}$ і буде такою:

- а) 1469 кг/м^3 ; б) 1224 кг/м^3 ; в) 1124 кг/м^3 ; г) 2338 кг/м^3 .

4. Глибина занурення ареометра у будь-яку рідину при відомих m, D, d визначиться з виразу:

а) $\frac{m}{\rho} - \frac{\pi D^3}{6} \cdot 4 + D$; б) $\frac{m}{\rho} - \frac{\pi D^3}{6} \cdot 4$;

в) $\frac{m}{\rho} - \frac{\pi D^3}{12} \cdot 4 + D$; г) $\frac{m}{\rho} - \frac{\pi D^3}{6} + D$.

5. Якщо рідиною є спирт ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$), то значення глибини занурення ареометра при наведених у п. 2, п. 3 величинах D, d, m буде таким:

- а) $8,0 \text{ см}$; б) $10,6 \text{ см}$; в) $12,6 \text{ см}$; г) $15,25 \text{ см}$.

4–4. Споруджений з дерев'яних колод пліт призначений для перевезення вантажу G (рис. 4.4).

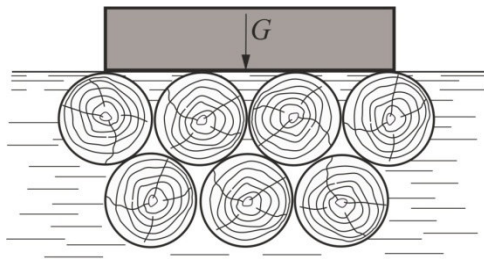


Рис. 4.4. Схема до п. 4–4



1. Якщо густина мокрих колод $\rho_{\text{кол}}$, їх діаметр d , довжина l , кількість n , а ρ – густина води, то вага мокрих колод $G_{\text{кол}}$ визначиться з виразу:

а) $\rho_{\text{кол}} g \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n$; б) $\rho g \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n$;

в) $\rho_{\text{кол}} g \cdot \frac{\pi d^2}{8} \cdot l \cdot n$; г) $\rho g \cdot \frac{\pi d^2}{8} \cdot l \cdot n$.

2. Архімедова сила $P_{\text{арх}}$, яка діє на колоди плоту, знайдеться з виразу:

а) $\rho_{\text{кол}} g \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n$; б) $\rho g \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot l \cdot n$;

в) $\rho_{\text{кол}} g \cdot \frac{\pi d^2}{8} \cdot l \cdot n$; г) $\rho g \cdot \frac{\pi d^2}{8} \cdot l \cdot n$.

3. Умова плавання плоту з вантажем:

а) $G + G_{\text{кол}} = P_{\text{арх}}$; б) $G = P_{\text{арх}} + G_{\text{кол}}$; в) $G_{\text{кол}} = P_{\text{арх}} + G$.

4. Необхідна кількість колод n плоту для перевезення вантажу G за умови співпадання верху плоту з вільною поверхнею води, визначиться з виразу:

а) $\frac{G}{g \pi d^2 l (\rho - \rho_{\text{кол}})}$; б) $\frac{4G}{g d^2 l (\rho - \rho_{\text{кол}})}$;

в) $\frac{4G}{g \pi d^2 l (\rho - \rho_{\text{кол}})}$; г) $\frac{4G}{g \pi d^2 l \rho}$.

5. При значеннях $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{кол}} = 750 \text{ кг/м}^3$, $d = 20 \text{ см}$, $l = 6,0 \text{ м}$, $G = 8 \text{ кН}$ кількість колод повинна бути такою:



а) 15; б) 16; в) 17; г) 18; д) 19.

6. При збільшенні вантажу G до значення 12 кН діаметр колод плоту при такій же їх кількості (п. 5) повинен бути таким (використати відповідь п. 4):

а) 22,1 см; б) 24,7 см; в) 25,8 см; г) 26,6 см.

4–5. У дні резервуару зроблено клапан діаметром d , який з'єднаний тягою довжиною z з поплавком, діаметром D . Вага поплавка, тяги і клапана G (рис. 4.5).

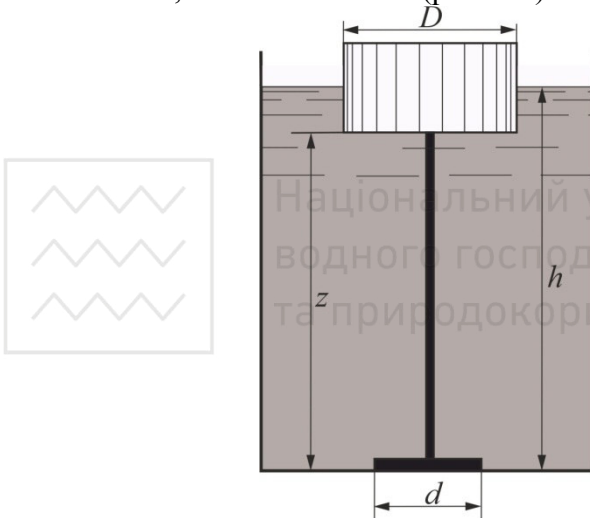


Рис. 4.5. Схема до п. 4–5

1. Якщо наповнення резервуару h , то силу манометричного тиску P води на клапан можна знайти з виразу:

а) $\rho g \cdot z \frac{\pi d^2}{4}$; б) $\rho g \cdot (h-z) \frac{\pi d^2}{4}$;

в) $\rho g \cdot h \cdot \pi d^2$; г) $\rho g \cdot h \frac{\pi d^2}{4}$.



2. Архімедова сила $P_{\text{арх}}$, що діє на поплавок, визначиться із залежності:

а) $\rho g \cdot h \frac{\pi D^2}{4}$; б) $\rho g \cdot (h-z) \frac{\pi D^2}{4}$;
в) $\rho g \cdot z \frac{\pi D^2}{4}$; г) $\rho g \cdot \pi l^2 h$.

3. Умова стану рівноваги:

а) $G + P = P_{\text{арх}}$; б) $G = P_{\text{арх}} + P$; в) $P = P_{\text{арх}} + G$.

4. Наповнення резервуару h , при якому почнеться відкриття клапана, можна знайти з виразу:

а) $\frac{4G + \rho g \pi D^2 z}{\rho g \pi (D^2 - d^2)}$; б) $\frac{G + \rho g \pi D^2 z}{\rho g \pi (D^2 - d^2)}$;
в) $\frac{4G + \rho g D^2 z}{\rho g (D^2 - d^2)}$; г) $\frac{4G + \rho g \pi D^2 z}{\rho g \pi l^2}$.

5. Якщо $G = 10$ кН, $D = 20$ см, $d = 10$ см, $z = 20$ см, то глибина наповнення резервуару h повинна бути такою:

а) 22 см; б) 28 см; в) 40 см; г) 93 см.

4–6. Порожнистий металевий циліндр зовнішнім діаметром D , довжиною l і вагою G занурений у воду (рис. 4.6).

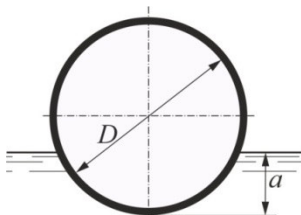


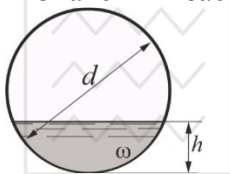
Рис. 4.6. Схема до п. 4–6

1. Якщо $G = 10$ кН, $D = 1,4$ м, $l = 2,0$ м, то за умови $G = P_{\text{арх}}$ порожній циліндр виштовхне об'єм води:

а) $0,86 \text{ м}^3$; б) $0,91 \text{ м}^3$; в) $1,02 \text{ м}^3$; г) $1,34 \text{ м}^3$,
а осадка a буде такою:

а) $38,7$ см; б) $44,0$ см; в) $46,5$ см; г) $50,2$ см.

Значення взаємозв'язку h , ω , d наведені в таблиці:



h/d	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
ω/d^3	0,041	0,118	0,198	0,293	0,393	0,493	0,588	0,674	0,745

2. Осадка циліндра буде $D/2$, якщо у нього налити води, об'ємом W , який визначиться з виразу:

а) $\frac{\rho g \frac{\pi D^2}{4} \cdot l - G}{\rho g}$; б) $\frac{\rho g \frac{\pi D^2}{4} \cdot l + G}{\rho g}$;
в) $\frac{\rho g \frac{\pi D^2}{8} \cdot l - G}{\rho g}$; г) $\frac{\rho g \frac{\pi D^2}{8} \cdot l + G}{\rho g}$.

3. Об'єм наливої води буде таким:

а) $0,36 \text{ м}^3$; б) $0,41 \text{ м}^3$; в) $0,52 \text{ м}^3$; г) $1,52 \text{ м}^3$,
а глибина h наливої води у циліндрі :
а) 68 см; б) $30,5$ см; в) $20,3$ см; г) $19,3$ см.



4. Максимальний об'єм води, який треба налити у циліндр, щоб він не потонув, можна визначити з виразу:

$$\begin{array}{ll} \text{а) } \frac{\rho g \frac{\pi D^2}{4} \cdot l - G}{\rho g}; & \text{б) } \frac{\rho g \frac{\pi D^2}{4} \cdot l + G}{\rho g}; \\ \text{в) } \frac{\rho g \frac{\pi D^2}{8} \cdot l - G}{\rho g}; & \text{г) } \frac{\rho g \frac{\pi D^2}{8} \cdot l + G}{\rho g}. \end{array}$$

5. Максимальний об'єм води повинен бути таким:

а) 1,36 м³; б) 2,06 м³; в) 2,52 м³; г) 3,01 м³,

а глибина h наливої води у циліндрі:

а) 122 см; б) 105 см; в) 89 см; г) 61 см.

4–7. Циліндр діаметром d , висотою H і вагою G плаває у воді (рис. 4.7).

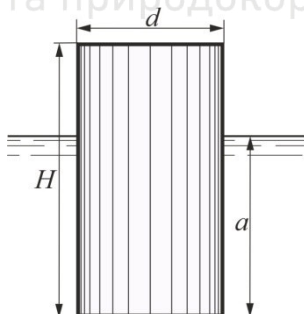


Рис. 4.7. Схема до п. 4–7

При значеннях $d = 0,5$ м, $H = 0,4$ м, $G = 686,7$ кН:

1. Об'єм водотоннажності W буде таким:

а) 0,04 м³; б) 0,05 м³; в) 0,06 м³; г) 0,07 м³.

2. Осадка циліндра a :

а) 0,357 м; б) 0,306 м; в) 0,255 м; г) 0,203 м.



3. Ексцентриситет e :

а) 0,0116 м; б) 0,0215 м; в) 0,047 м; г) 0,073 м.

4. Метацентричний радіус $\rho \left(\frac{I_0}{W} \right)$:

а) 0,0511 м; б) 0,0438 м; в) 0,0613 м; г) 0,077 м.

5. Метацентрична висота $m (\rho - e)$:

а) 0,0041 м; б) 0,0497 м; в) 0,0223 м; г) 0,0301 м.

6. Плаваючий циліндр буде:

а) остійний; б) неостійний.

Зміна стану плаваючого тіла (остійний, неостійний) почнеться при $m = 0$.

В такому випадку для циліндра діаметром $d = 0,5$ м і вагою $G = 686,7$ кН:

7. Значення ексцентриситету e повинно бути таким:

а) 0,0511 м; б) 0,0438 м; в) 0,0613 м; г) 0,077 м.

8. Висота циліндра H :

а) 0,4222 м; б) 0,5220 м; в) 0,4446 м; г) 0,6141 м.

4–8. Дерев'яний ($\rho = 750$ кг/м³) брус висотою a , шириною b і довжиною l плаває у воді (рис. 4.8).

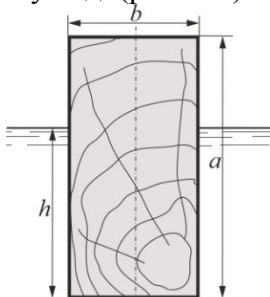


Рис. 4.8. Схема до п. 4–8



За умови плавання тіл ($G = P_{арх}$) при значеннях $a = 0,8$ м,
 $b = 0,4$ м, $l = 1,0$ м:

1. Осадка h бруса буде такою:
а) 0,40 м; б) 0,50 м; в) 0,60 м; г) 0,70 м.
2. Об'єм водотоннажності W :
а) 0,28 м³; б) 0,24 м³; в) 0,20 м³; г) 0,16 м³.
3. Ексцентриситет e :
а) 0,20 м; б) 0,15 м; в) 0,10 м; г) 0,05 м.
4. Метацентричний радіус ρ ($\frac{I_0}{W}$):
а) 0,0222 м; б) 0,0267 м; в) 0,0333 м; г) 0,0190 м.
5. Метацентрична висота m ($\rho - e$):
а) 0,0167 м; б) -0,0167 м; в) -0,0778 м; г) 0,0778 м.
6. Плавання бруса є:
а) остійним; б) неостійним.

Відповіді до розділу 4:

4-1.4. 706,1 кПа; 4-1.7. 200 мм; 4-2.5. 1,24 м; 4-3.5. 12,6 см;
4-4.6. 24,7 см; 4-5.5. 28 см; 4-6.3. 30,5 см; 4-7.3. 0,0215 м;
4-7.8. 0,4446 м; 4-8.4. 0,0222 м.



У гідродинаміці, яка є розділом механіки рідини, практичний інтерес при вивченні законів руху рідини становлять: швидкість руху рідини в даній точці – u і гідродинамічний тиск в ній – p .

Елементи і параметри потоку

Лінія течії – уявна крива у рідині, вектор швидкості у кожній точці якої є дотичним до неї.

Трубка течії – трубчаста поверхня, утворена сукупністю ліній течії, які проходять через нескінченно малий замкнений контур.

Елементарна струминка – рідина, що рухається всередині трубки течії.

Потік рідини – сукупність елементарних струминок.

Тобто під потоком можна розуміти рух маси рідини, що обмежена жорсткими стінками або вільними поверхнями.

Живий переріз – поверхня, проведена перпендикулярно до ліній течії.

Живий переріз має такі основні елементи:

- а) площа живого перерізу – ω ;
- б) змочений периметр – χ – довжина лінії, яка в живому перерізі розділяє рідину і тверду поверхню русла потоку;
- в) гідравлічний радіус – R – відношення площі живого перерізу до змоченого периметра ($R = \frac{\omega}{\chi}$).

Об'ємна витрата (витрата рідини) Q – це об'єм рідини (V), що протікає через живий переріз за одиницю часу (t). Розмірність $[m^3/c; л/с]$.

Середня швидкість v – умовна швидкість, яка є однаковою для всіх точок перерізу, і витрата відповідає дійсному розподілу швидкостей в перерізі.



Усталений рух – рух, при якому його характеристики (швидкість, тиск) в окремих точках простору не змінюються впродовж часу, а є функціями координат точок (x, y, z). При *неусталеному русі* названі характеристики потоку змінюються у часі. Усталений рух може бути рівномірний і нерівномірний.

При *рівномірному русі* гідравлічні елементи потоку (швидкість, глибина та інші) не змінюються по довжині русла. Якщо деякі елементи потоку змінюються по довжині русла, то рух буде *нерівномірним*.

Плавномірний рух – рух, при якому кривизна ліній течії або кути розходження між ними є незначними. У протилежному випадку рух рідини буде *різкозмінним*.

Напірним називають такий рух, при якому рідина не має вільної поверхні.

На поверхні *безнапірного* потоку тиск дорівнює атмосферному.

Рух рідини, який відбувається без обертання частинок рідини, називають *потенціальним*, на відміну від *вихрового* руху.

Рівняння нерозривності для потоку рідини є таким:

$$v_1 \cdot \omega_1 = v_2 \cdot \omega_2 = \dots = v_n \cdot \omega_n,$$

де v – середні швидкості в перерізах з площею ω .

Рівняння Д. Бернуллі

Рівняння Бернуллі встановлює залежність між положенням точки, тиском і швидкістю у будь-якому перерізі елементарної струминки або потоку та аналогічними характеристиками в іншому перерізі цієї самої струминки або потоку.



$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} - \text{рівняння Д. Бернуллі для}$$

елементарної струминки нев'язкої (ідеальної) рідини.

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h_w - \text{рівняння Бернуллі}$$

для елементарної струминки в'язкої рідини.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w - \text{рівняння Бернуллі}$$

для потоку в'язкої рідини.

Геометрична інтерпретація рівняння Бернуллі

Кожний член рівняння Бернуллі має лінійну розмірність і параметри його мають такий геометричний зміст:

Z – *геометрична висота* – висота розташування геометричного центру живого перерізу струминки відносно довільної горизонтальної площини порівняння.

$$\frac{p}{\rho g} - \text{п'єзометрична висота, яка відповідає манометрич-$$

ному тиску у точці перерізу струминки (потoku).

$$\frac{u^2}{2g} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) - \text{динамічна висота, яка зумовлена дією шви-$$

дкості в точці рідини.

Складові рівняння Бернуллі можна трактувати як напори:

$$Z + \frac{p}{\rho g} = H_n - \text{п'єзометричний напір.} \quad \frac{u^2}{2g} \left(\frac{\alpha v^2}{2g} \right) - \text{швид-$$

кісний напір.



$$Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H_0 \quad \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = H_0 \right) \quad - \text{повний гі-}$$

дродинамічний напір.

h_w – втрати повного гідродинамічного напору по довжині між перерізами елементарної струминки або потоку.

Лінію, що показує зміну п'єзометричного напору по довжині струминки (потіку), називають *п'єзометричною лінією*.

Лінію, що показує зміну повного гідродинамічного напору по довжині струминки (потіку), називають *напірною лінією*. У випадку ідеальної рідини вона є горизонтальною.

Похили названих ліній називають, відповідно, п'єзометричним і гідравлічним похилами. Розрізняють середні значення цих похилів та їх значення в конкретних точках ліній.

Середній п'єзометричний похил (I_p) – відношення зміни п'єзометричного напору до довжини струминки (потіку), на якій виникли ці зміни.

П'єзометричний похил може бути додатнім (при збільшенні швидкості по течії струминки) і від'ємним (коли швидкість зменшується).

Середній гідравлічний похил (I) – відношення зміни повного гідродинамічного напору до довжини струминки, на якій виникли ці зміни.

Гідравлічний похил є тільки додатнім, оскільки $h_w > 0$.

Застосування рівняння Бернуллі

1. Розрахункові перерізи вибирають на ділянках, де потік задовольняє умовам плавної змінності. Між взятими перерізами ця умова може і не виконуватись.

2. Гідродинамічний тиск p та висоту розташування z можна віднести до будь-яких точок перерізів, які можуть і не знаходитись на одній спільній лінії течії.



3. Площина порівняння вибирається на довільному, зручному для розрахунків рівні.

Якщо у рівнянні Бернуллі після спрощень залишається більше одного невідомого, то в якості допоміжного рівняння застосовується рівняння нерозривності, яке для двох перерізів має вигляд:

$$v_1 \cdot \omega_1 = v_2 \cdot \omega_2.$$

5–1. Лінія течії – це:

а) лінія, що збігається з траєкторією частинок рідини при будь-якому виді руху рідини;

б) умовна лінія, проведена через точки у рідині таким чином, щоб миттєві вектори швидкості збігались з дотичними до лінії у цих точках;

в) лінія, проведена через точки у рідині паралельно дну русла.

5–2. U – миттєва швидкість у точках 1, 2, 3 рухомої рідини. Яка із зображених ліній (а, б, в, г) є лінією течії (рис. 5.1):

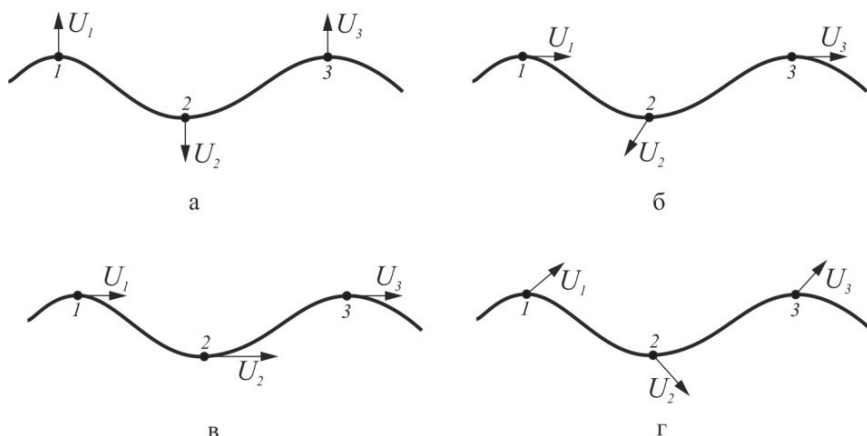


Рис. 5.1. Схема до п. 5–2



5-3. У випадку усталеного руху рідини лінія течії і траєкторія частинки рідини:

- а) збігаються;
- б) є паралельними;
- в) розташовані під кутом.

5-4. При неусталеному русі рідини глибина і середня швидкість в перерізах потоку:

- а) змінюються впродовж часу;
- б) залишаються сталими впродовж часу, але є різними по довжині русла;
- в) залишаються сталими впродовж часу і однаковими по довжині русла.

5-5. При нерівномірному русі рідини гідравлічні елементи потоку (швидкість і гідродинамічний тиск у фіксованих точках):

- а) змінюються в перерізі з часом;
- б) в перерізі з часом не змінюються, а змінюються по довжині русла;
- в) є однаковими по всій довжині русла і не змінюються впродовж часу.

5-6. При рівномірному русі рідини гідравлічні елементи потоку (швидкість і гідродинамічний тиск у фіксованих точках):

- а) змінюються в перерізі з часом;
- б) в перерізі з часом не змінюються, а змінюються по довжині русла;
- в) є однаковими по всій довжині русла і не змінюються впродовж часу.

5-7. На рис. 5.2 зображена елементарна струминка. Яке співвідношення між швидкостями u частинок рідини в точках 1, 2, 3, 4, 5 перерізу струминки є правильним:

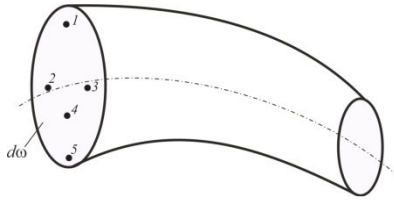


Рис. 5.2. Схема до п. 5–7

а) $u_1 > u_2 = u_3 > u_4 > u_5$;

б) $u_1 < u_2 = u_3 < u_4 < u_5$;

в) $u_1 < u_2 < u_3 < u_4 < u_5$;

г) $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$;

д) $u_1 > u_2 > u_3 > u_4 > u_5$.

5–8. На рис. 5.3 зображений потік рідини у вигляді ліній течій. AB – вільна поверхня рідини, CD – лінія дна русла.

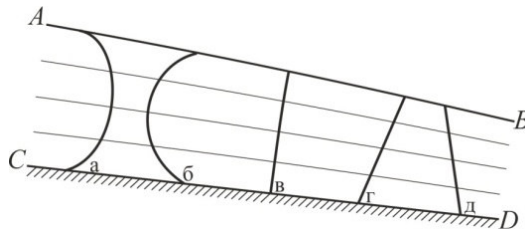


Рис. 5.3. Схема до п. 5–8

Скільки ліній течій показано малюнку:

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4;
- д) 5.



Як правильно позначений живий переріз:

- а) a ; б) b ; в) c ; г) z ; д) δ .

5–9. На рис. 5.4 зображений переріз потоку при безнапірному русі рідини у прямокутній трубі. За якою формулою можна визначити змочений периметр χ :

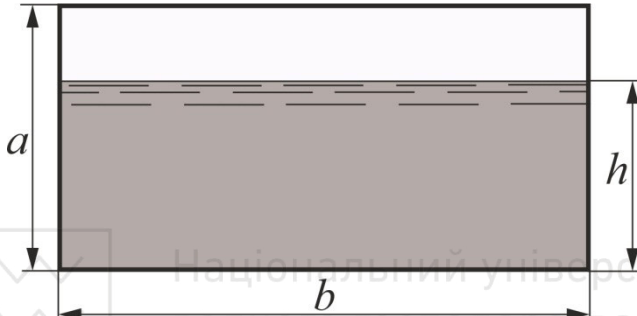


Рис. 5.4. Схема до п. 5–9

- а) $\chi = b$; б) $\chi = b + 2a$; в) $\chi = 2(b + a)$; г) $\chi = b + 2h$; д) $\chi = 2h$.

5–10. За якою формулою можна визначити гідравлічний радіус R (рис. 5.4):

а) $R = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$; б) $R = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$; в) $R = \frac{b \cdot h}{2(a + b)}$;

г) $R = \frac{a \cdot b}{b + 2h}$; д) $R = \frac{a \cdot b}{b + 2a}$.

5–11. На рис. 5.5 зображений переріз потоку при напірному русі рідини у круглій трубі діаметром d . Чому дорівнює гідравлічний радіус R :

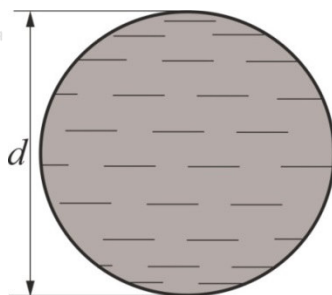


Рис. 5.5. Схема до п. 5–11

а) $R = d$; б) $R = \frac{d}{2}$; в) $R = \frac{d}{3}$; г) $R = \frac{d}{4}$.

5–12. ABC – епіюра швидкостей в живому перерізі AC напірного потоку у круглій трубі. У якому варіанті (а, б, в, г) показана можлива величина середньої швидкості в перерізі – v (рис. 5.6):

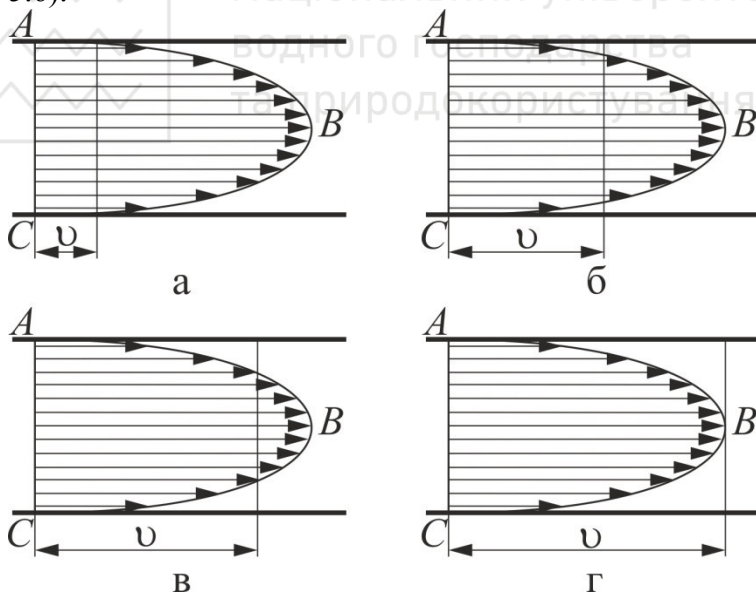


Рис. 5.6. Схеми до п. 5–12



5–13. Середня швидкість в живому перерізі є умовна швидкість:

а) при якій витрата рідини відповідає дійсному розподілу швидкостей в перерізі;

б) що дорівнює $0,3 v_{\max}$ ($v_{\max}$ – максимальна швидкість в перерізі);

в) що дорівнює $0,5 v_{\max}$;

г) що дорівнює $0,7 v_{\max}$.

5–14. Через живий переріз потоку протікає об'єм води $V = 10 \text{ м}^3$ за час $t = 20 \text{ с}$, із середньою швидкістю $v = 1,5 \text{ м/с}$. Витрата води дорівнює:

а) $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $2,0 \text{ м}^3/\text{с}$; в) $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$; г) $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$; д) $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

5–15. Через живий переріз потоку, площею $\omega = 2 \text{ м}^2$, протікає об'єм води $V = 6 \text{ м}^3$, із швидкістю $v = 1 \text{ м/с}$. Витрата води дорівнює:

а) $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $2,0 \text{ м}^3/\text{с}$; в) $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$; г) $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$; д) $6,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

5–16. Трубопровід змінного поперечного перерізу. Q – витрата, d – діаметри труб. $d_4 > d_3 = d_1 > d_2$ (рис. 5.7).

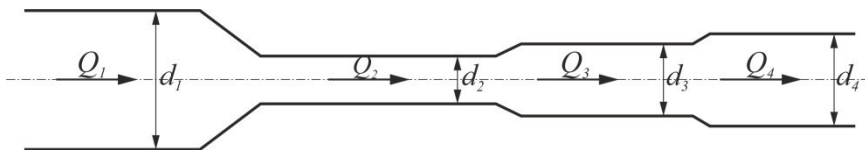


Рис. 5.7. Схема до п. 5–16

Яке співвідношення витрат є правильним:

а) $Q_4 > Q_3 = Q_1 > Q_2$;

б) $Q_4 < Q_3 = Q_1 < Q_2$;

в) $Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4$;

г) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4$.

5–17. Діаметри ділянок трубопроводу: $d_1 = 100 \text{ мм}$; $d_2 = 50 \text{ мм}$; $d_3 = 75 \text{ мм}$ (рис. 5.8). Середня швидкість руху води в першому перерізі $v_1 = 0,5 \text{ м/с}$. При наведених даних:

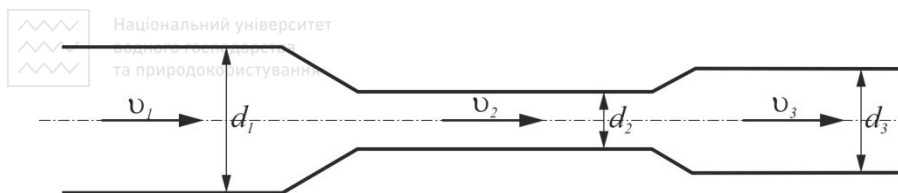


Рис. 5.8.Схема до п. 5–17

1. середня швидкість v_2 дорівнює:

- а) $1,0 \text{ м/с}$; б) $1,5 \text{ м/с}$; в) $2,0 \text{ м/с}$; г) $2,5 \text{ м/с}$.

2. середня швидкість v_3 :

- а) $0,76 \text{ м/с}$; б) $0,89 \text{ м/с}$; в) $1,01 \text{ м/с}$;
г) $1,18 \text{ м/с}$; д) $1,26 \text{ м/с}$.

5–18. Середні швидкості в перерізах напірного трубопроводу (рис. 5.8): $v_1 = 0,6 \text{ м/с}$; $v_2 = 1,35 \text{ м/с}$; $v_3 = 0,15 \text{ м/с}$. Діаметр $d_2 = 50 \text{ мм}$. При наведених даних:

1. d_1 дорівнює: а) 60 мм ; б) 75 мм ; в) 100 мм ; г) 100 мм .
2. d_3 дорівнює: а) 100 мм ; б) 125 мм ; в) 150 мм ; г) 200 мм .

5–19. Яке із запропонованих рівнянь є рівнянням Бернуллі:

1. для елементарної струминки невязкої (ідеальної) рідини:
2. для елементарної струминки вязкої рідини:
3. для потоку вязкої рідини:

а) $Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$;

б) $Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}}$;

в) $Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$.



5–20. До якої пари перерізів трубопроводу змінного діаметру може бути застосоване рівняння Бернуллі (рис. 5.9):

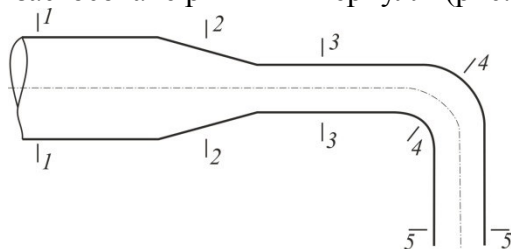


Рис. 5.9. Схема до п. 5–20

а) 1–2; б) 1–3; в) 1–4; г) 2–3; д) 2–4; е) 2–5.

5–21. На рис. 5.10 показаний живий переріз 1–1, до якого підведені п'єзометр (П) та гідродинамічна трубка (Г).

0–0 – площина порівняння.

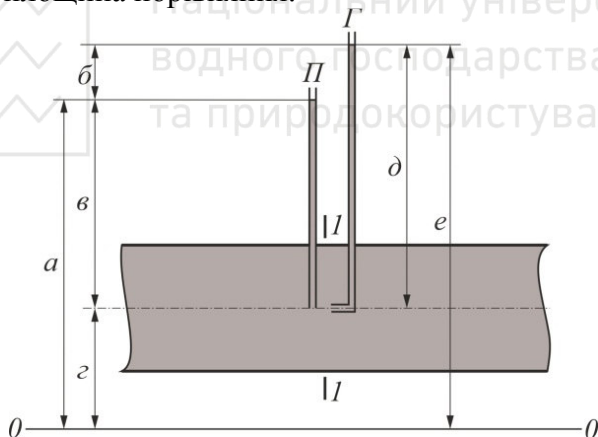


Рис. 5.10. Схема до п. 5–21

Якою буквою позначені:

1. геометрична висота;
2. п'єзометрична висота;
3. швидкісний напір;
4. п'єзометричний напір;
5. повний гідродинамічний напір.



5–22. $H_{p1}, H_{p2}, H_{p3}, H_{p4}, H_{p5}$ – п'єзометричні напори у відповідних точках живого перерізу у напірному трубопроводі (рис. 5.11).

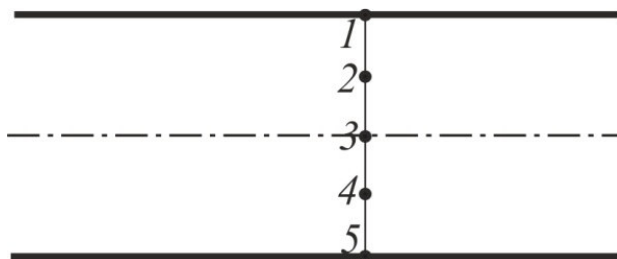


Рис. 5.11. Схема до п. 5–22

Яке співвідношення між ними є правильним:

а) $H_{p1} > H_{p2} > H_{p3} > H_{p4} > H_{p5}$;

б) $H_{p1} = H_{p2} = H_{p3} = H_{p4} = H_{p5}$;

в) $H_{p1} < H_{p2} < H_{p3} < H_{p4} < H_{p5}$;

г) $H_{p1} > H_{p2} = H_{p3} > H_{p4} = H_{p5}$.

5–23. Складові рівняння Бернуллі з енергетичної точки зору становлять питому енергію. „Питома” – це енергія, віднесена:

а) до одиниці ваги рідини;

б) до одиниці маси рідини;

в) до одиниці площі перерізу;

г) до одиниці часу проходження рідини через живий переріз.

5–24. В трубі змінного поперечного перерізу ($d_1 > d_4 > d_2 = d_3$) рухається рідина (рис. 5.12).

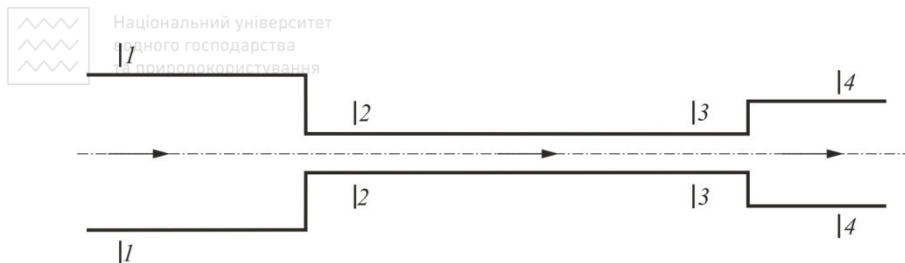


Рис. 5.12. Схема до п. 5–24

$H_{\partial 1}, H_{\partial 2}, H_{\partial 3}, H_{\partial 4}$ – повні гідродинамічні напори в перерізах. Яке співвідношення між ними є правильним, якщо:

1) рідина є нев'язкою (ідеальною):

2) рідина є в'язкою (реальною):

а) $H_{\partial 1} = H_{\partial 2} = H_{\partial 3} = H_{\partial 4}$;

б) $H_{\partial 1} > H_{\partial 2} > H_{\partial 3} > H_{\partial 4}$;

в) $H_{\partial 1} < H_{\partial 2} < H_{\partial 3} < H_{\partial 4}$;

г) $H_{\partial 1} > H_{\partial 2} = H_{\partial 3} > H_{\partial 4}$;

д) $H_{\partial 1} > H_{\partial 4} > H_{\partial 2} = H_{\partial 3}$.

5–25. У рівнянні Бернуллі:

$$1) Z - \quad 2) \frac{p}{\rho g} - \quad 3) \frac{\alpha v^2}{2g} - \quad 4) h_w -$$

$$5) Z + \frac{p}{\rho g} - \quad 6) Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} -$$

а) втрати напору;

б) швидкісний напір;

в) п'єзометричний напір;

г) повний гідродинамічний напір;

д) геометрична висота;

е) п'єзометрична висота.

5–26. У трубопроводі змінного поперечного перерізу рухається рідина (рис. 5.13).

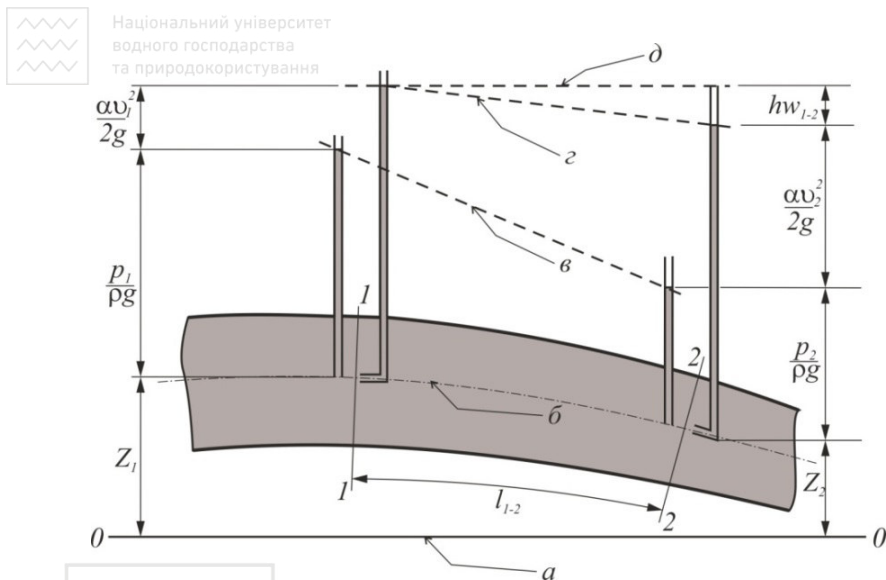


Рис. 5.13. Схема до п. 5–26

Якою буквою (а, б, в, г, д) позначені:

- 1) п'єзометрична лінія;
- 2) напірна лінія.

5–27. Напірна лінія показує:

- а) зміну швидкісного напору в потоці між перерізами;
- б) зміну п'єзометричної висоти в потоці між перерізами;
- в) зміну геометричної висоти в потоці між перерізами;
- г) зміну повного гідродинамічного напору в потоці між перерізами;
- д) зміну п'єзометричного напору в потоці між перерізами.

5–28. П'єзометрична лінія показує:

- а) зміну швидкісного напору в потоці між перерізами;
- б) зміну п'єзометричної висоти в потоці між перерізами;
- в) зміну геометричної висоти в потоці між перерізами;
- г) зміну повного гідродинамічного напору в потоці між перерізами;
- д) зміну п'єзометричного напору в потоці між перерізами.



5–29. За яким виразом визначається середній п'єзометричний похил I_p між перерізами 1–1 та 2–2 ділянки довжиною l_{1-2} (рис. 5.13):

$$\begin{aligned} \text{а) } \frac{Z_1 - Z_2}{l_{1-2}}; \quad \text{б) } \frac{\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}}{l_{1-2}}; \quad \text{в) } \frac{(Z_1 + \frac{p_1}{\rho g}) - (Z_2 + \frac{p_2}{\rho g})}{l_{1-2}} \\ ; \quad \text{г) } \frac{\frac{\alpha v_1^2}{2g} - \frac{\alpha v_2^2}{2g}}{l_{1-2}}; \quad \text{д) } \frac{h_{w_{1-2}}}{l_{1-2}}. \end{aligned}$$

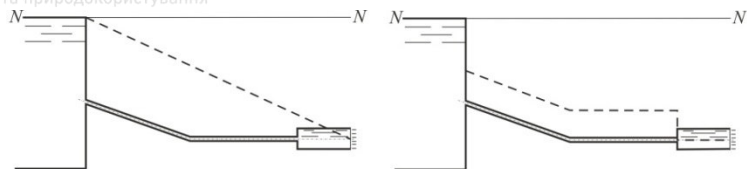
5–30. За яким виразом визначається середній гідравлічний похил I між перерізами 1–1 та 2–2 ділянки довжиною l_{1-2} (рис. 5.13):

$$\begin{aligned} \text{а) } \frac{Z_1 - Z_2}{l_{1-2}}; \quad \text{б) } \frac{\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}}{l_{1-2}}; \quad \text{в) } \frac{(Z_1 + \frac{p_1}{\rho g}) - (Z_2 + \frac{p_2}{\rho g})}{l_{1-2}}; \\ \text{г) } \frac{\frac{\alpha v_1^2}{2g} - \frac{\alpha v_2^2}{2g}}{l_{1-2}}; \quad \text{д) } \frac{h_{w_{1-2}}}{l_{1-2}}. \end{aligned}$$

5–31. З резервуара по трубі змінного поперечного перерізу витікає рідина в атмосферу (рис. 5.14). У якому варіанті (а, б, в, г, д, е) запропонована (— — — — —) п'єзометрична лінія є правильною, якщо не враховувати втрати напору (рідина нев'язка, NN – напірна лінія).

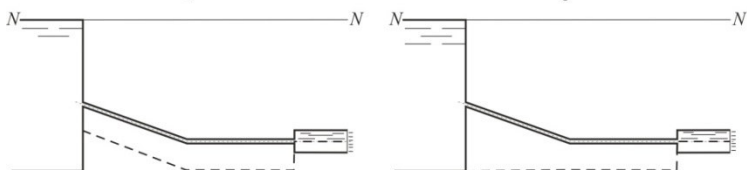


1.



а

б



в

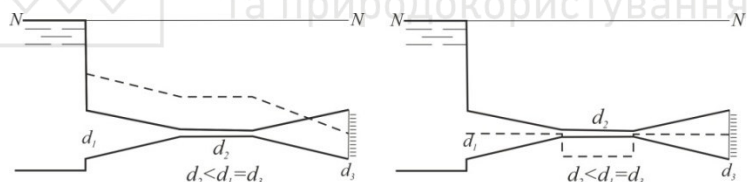
г



д

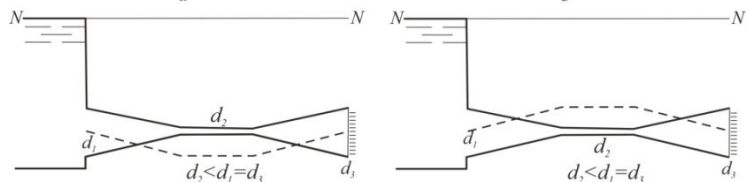
е

2.



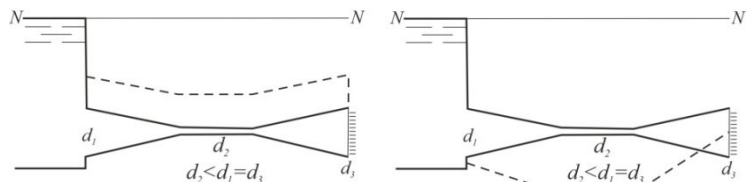
а

б



в

г

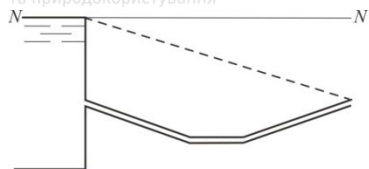


д

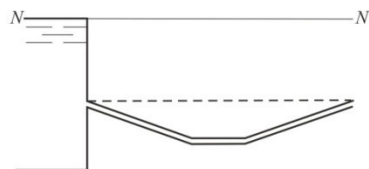
е



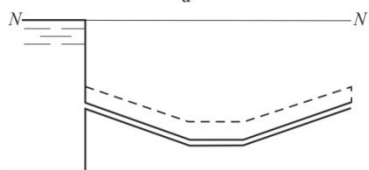
3.



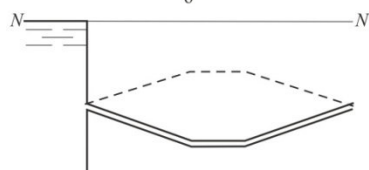
а



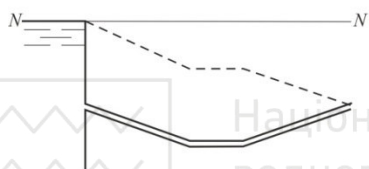
б



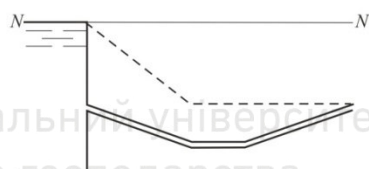
в



г

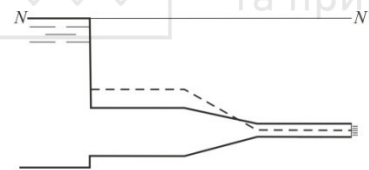


д

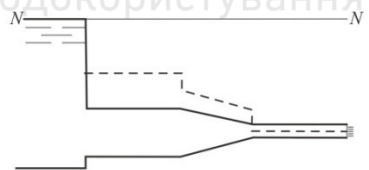


е

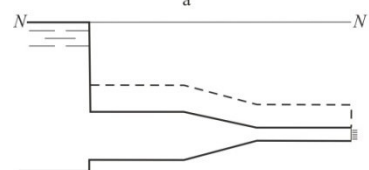
4.



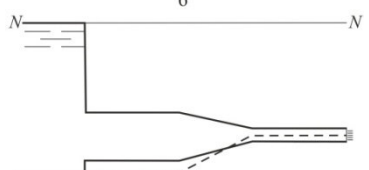
а



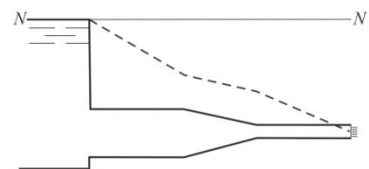
б



в



г



д



е



5. Національний університет
водного господарства
та природокористування

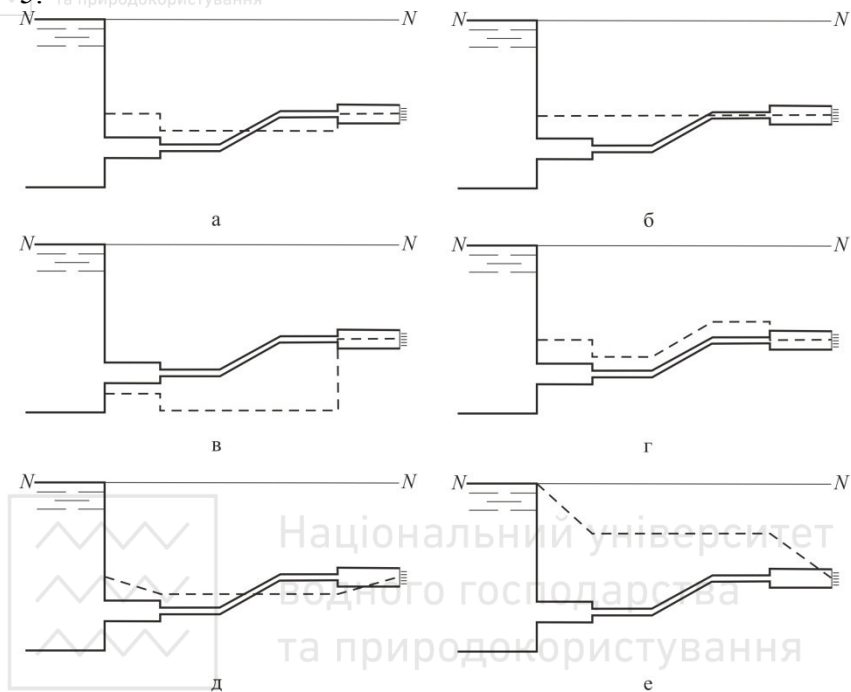


Рис. 5.14. Схеми до п. 5–31



Розділ 6. Гідравлічні опори і втрати напору

Класифікація гідравлічних опорів та втрат напору

При русі в'язкої рідини на подолання сил опору руху втрачається частина енергії (напору) потоку – h_w . Розрізняють *опори тертя*, які розосереджені по довжині потоку, і *місцеві опори*, що зосереджені на ділянках русла незначної довжини і які викликають різку деформацію потоку.

Відповідно до цього розрізняють *втрати напору по довжині* h_d і *місцеві втрати напору* h_m .

При дослідному методі визначення втрат напору використовується рівняння Бернуллі, розв'язане відносно h_w :

$$h_w = (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \right) + \left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right).$$

Величини параметрів правої частини рівняння можна знайти дослідним (лабораторним) шляхом.

При розрахунковому методі використовується формула Вейсбаха:

$$h_w = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

де ζ – коефіцієнт опору, який залежить від виду опору і показує, яка частина швидкісного напору втрачається на подолання даного опору.

Режими руху рідини

Залежно від швидкості руху рідини можливі різні види її течії.

Якщо течія рідини відбувається окремими струминками або шарами, без перемішування частинок рідини, то такий режим течії (руху) називають *ламінарним*. Режим руху рідини, при якому струминність потоку порушена і спостерігається пере-



мішування частинок рідини, називають *турбулентним*. Швидкість, при якій відбувається зміна режимів, називають *критичною швидкістю*.

Для визначення режиму руху рідини використовується безрозмірний параметр – *число Рейнольдса* Re , який для круглих напірних труб діаметра d визначається за формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Для інших видів русел, для яких діаметр не є характерним лінійним параметром поперечного перерізу потоку, за формулою:

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

де R – гідравлічний радіус, ν – кінематична в'язкість рідини.

Дослідами встановлені критичні значення числа Рейнольдса – $Re_{кр}$, а саме: $(Re_d)_{кр} = 2320$, $(Re_R)_{кр} = 580$.

Таким чином, якщо знайдене за наведеними формулами число Рейнольдса Re буде більшим за критичне значення $Re_{кр}$, то режим руху рідини турбулентний. Коли $Re < Re_{кр}$ – режим ламінарний.

Для ламінарного режиму можна зробити наступні висновки (на прикладі руху рідини у круглій напірній трубі):

1. Швидкість у живому перерізі розподіляється за параболічним законом:

$$u = 2\nu \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right),$$

де ν – середня швидкість потоку, r_0 – радіус труби, u – швидкість у точці перерізу радіуса r .

2. Середня швидкість в перерізі дорівнює половині максимальної швидкості.

3. Коефіцієнт кінетичної енергії $\alpha = 2,0$.



4. Втрати напору по довжині h_o можуть бути визначені за формулою Дарсі–Вейсбаха:

$$h_o = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g},$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя, який обчислюється за формулою: $\lambda = \frac{64}{Re}$.

При турбулентному режимі спостерігається перемішування частинок рідини, а швидкості у кожній точці живих перерізів змінюються за величиною і напрямом навколо деякого середнього значення. Таке явище називають *пульсацією швидкості*.

Швидкість у даний момент часу в певній точці потоку називають *миттєвою місцевою швидкістю* – U .

Осереднена швидкість $\bar{U}$ в даній точці живого перерізу – це незмінна у часі за величиною і напрямком швидкість, при якій витрата рідини, яка протікає через елементарну площадку, що містить дану точку, дорівнює витраті при дійсних швидкостях течії рідини.

Різницю між миттєвою і осередненою швидкостями називають *пульсаційною швидкістю* – U' , яка може бути як додатною, так і від'ємною.

Турбулентний потік в трубі можна розділити на дві частини. Біля стінки труби утворюється зона з ознаками ламінарного руху, яку називають *пристінним ламінарним шаром*. Товщина цього шару δ є незначною (долі міліметра). Іншу частину потоку називають *турбулентним ядром*. Інтенсивне перемішування частинок рідини в ньому приводить до вирівнювання величин осереднених швидкостей. Відношення середньої швидкості U до максимальної u_{max} в живому перерізі турбулентного потоку складає 0,75...0,90.

Коефіцієнт кінетичної енергії α в круглих трубах змінюється в межах 1,03...1,16.



Пристінний ламінарний шар має суттєвий вплив на формування гідравлічних опорів по довжині у турбулентних потоках. Значення δ порівнюється із висотою виступів шорсткості Δ (абсолютна шорсткість). Якщо $\Delta < \delta$, то при русі рідини має місце тільки тертя між її шарами. Такі труби називають *гідравлічно гладкими*.

При $\Delta > \delta$ має місце тертя рідини о шорстку поверхню. Такі труби називають *гідравлічно шорсткими*.

Формула Дарсі–Вейсбаха використовується і для визначення втрат напору при турбулентному русі. Коефіцієнт гідравлічного тертя, у загальному випадку, залежить від числа

Рейнольдса і відносної шорсткості, тобто $\lambda = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right)$.

При турбулентному русі значення λ є різними залежно від області гідравлічних опорів. Розрізняють такі три області опорів при турбулентному русі:

1. Область гладкостінного опору (область гідравлічно гладких труб).

В цій області $\Delta < \delta$, тому коефіцієнт $\lambda = f(Re)$.

2. Область доквадратичного опору. В цій області пристінний ламінарний шар не покриває виступи шорсткості ($\Delta > \delta$), тому коефіцієнт $\lambda = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right)$.

3. Область квадратичного опору. В цій області пристінний ламінарний шар зруйнований ($\delta \sim 0$), виступи шорсткості знаходяться в турбулентному ядрі, тому коефіцієнт $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{d}\right)$.

Місцеві гідравлічні опори і місцеві втрати напору

Місцевими називають опори, які викликають різку деформацію потоку, внаслідок чого змінюється величина середньої



швидкості (розширення, звуження потоку), або змінюється напрям руху (зігнуті ділянки труб). Опори, що пов'язані із злиттям і поділом потоку (трійники, хрестовини), а також з течією потоку крізь арматуру (крани, клапани, вентиля тощо), включають у себе елементи вищеназваних опорів.

Місцеві втрати напору визначають за формулою Вейсбаха:

$$h_w = \zeta \frac{v^2}{2g},$$

де ζ – коефіцієнт місцевого опору, який у загальному випадку залежить від виду опору та числа Рейнольдса. При турбулентному режимі течії рідини вплив числа Рейнольдса на значення ζ є незначним і його не враховують.

v – середня швидкість потоку в перерізі до місцевого опору або після нього.

6–1. Що є головною причиною утворення витрат механічної енергії рідини:

- а) форма русла;
- б) розміри русла;
- в) шорсткість русла;
- г) швидкість потоку;
- д) в'язкість рідини.

6–2. Як називають режим руху рідини, який відбувається без перемішування її частинок:

- а) рівномірний;
- б) нерівномірний;
- в) ламінарний;
- г) турбулентний;
- д) усталений;
- е) безнапірний.



6–3. Як називають режим руху рідини, який відбувається з інтенсивним перемішуванням частинок рідини:

- а) рівномірний;
- б) нерівномірний;
- в) ламінарний;
- г) турбулентний;
- д) усталений;
- е) безнапірний.

6–4. Швидкість, при якій відбувається зміна режимів, називають:

- а) середня;
- б) максимальна;
- в) критична;
- г) осереднена;
- д) пульсаційна.

6–5. За яким критерієм визначають режим руху рідини:

- а) Фруда;
- б) Вебера;
- в) Рейнольдса;
- г) Ейлера;
- д) Коші.

6–6. За яким виразом визначають число Рейнольдса:

$$\text{а) } \frac{v^2}{gl}; \quad \text{б) } \frac{vR}{\nu}; \quad \text{в) } \frac{P}{\rho v^2}.$$

6–7. Фізичний зміст числа Рейнольдса:

- а) відношення сил інерції до сил тертя;
- б) відношення сил інерції до сил тяжіння;
- в) відношення сил інерції до сил поверхневого натягу;
- г) відношення сил інерції до сил тиску.



6–8. При якому значенні числа Рейнольдса, підрахованого по діаметру у круглій трубі, буде спостерігатись турбулентний режим руху рідини:

- а) 3000; б) 2000; в) 1000; г) 500.

6–9. При якому значенні числа Рейнольдса у прямокутній трубі буде спостерігатись ламінарний режим руху рідини:

- а) 3000; б) 2000; в) 1000; г) 500.

6–10. При ламінарному режимі руху рідини втрати напору пропорційні швидкості v (a – коефіцієнт пропорційності) у степені:

- а) $h_w = a \cdot v$; б) $h_w = a \cdot v^{1,2}$; в) $h_w = a \cdot v^{1,4}$; г) $h_w = a \cdot v^{1,6}$; д) $h_w = a \cdot v^2$.

6–11. При розвиненому турбулентному режимі руху рідини втрати напору пропорційні швидкості v (a – коефіцієнт пропорційності) у степені:

- а) $h_w = a \cdot v$; б) $h_w = a \cdot v^{1,2}$; в) $h_w = a \cdot v^{1,4}$; г) $h_w = a \cdot v^{1,6}$; д) $h_w = a \cdot v^2$.

6–12. У якому варіанті (а, б, в, г) епіюра швидкостей в перерізі круглої труби (поза початковою ділянкою) відповідає ламінарному руху (рис. 6.1):

v – середня швидкість в перерізі.

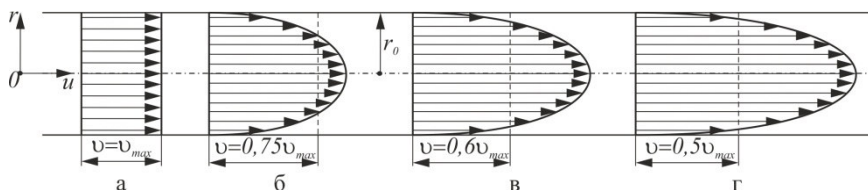


Рис. 6.1.Схема до п. 6–12



6–13. Коефіцієнт кінетичної енергії α , що входить в рівняння Бернуллі ($\frac{\alpha v^2}{2g}$) при ламінарному режимі, дорівнює:

- а) 1; б) 1,2; в) 1,6; г) 2,0; д) 2,5.

6–14. При якому значенні r швидкість в перерізі круглої напірної труби, радіуса r_0 при ламінарному русі буде дорівнювати середній швидкості v при розподілі швидкостей за параболічним законом $u = u_{\max} (1 - \frac{r^2}{r_0^2})$ (рис. 6.1):

- а) $r=0$; б) $r=0,32r_0$; в) $r=0,5r_0$; г) $r=0,71r_0$; д) $r=0,76r_0$.

6–15. Втрати напору при рівномірному русі і ламінарному режимі можна визначити з виразу:

- а) $\frac{\nu d}{\nu}$; б) $\frac{\text{Re} \cdot \nu}{\nu}$; в) $\rho \cdot g \cdot R \cdot I$; г) $\lambda \frac{l \cdot v^2}{4R2g}$; д) $\frac{\gamma}{4\mu} I \cdot r_0^2$.

6–16. λ у формулі для визначення втрат напору – це:

- а) коефіцієнт кількості руху;
б) гідравлічний коефіцієнт тертя;
в) коефіцієнт кінетичної енергії;
г) коефіцієнт Шезі.

6–17. Коефіцієнт λ при ламінарному рівномірному русі у круглих трубах можна знайти з виразу:

- а) $\frac{64}{\text{Re}}$; б) $\frac{0,021}{d^{0,3}}$; в) $\frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$; г) $\frac{8g}{C^2}$.

6–18. Швидкість в даний момент часу в даній точці турбулентного потоку називають:

- а) осереднена швидкість;
б) місцева миттєва швидкість;
в) середня швидкість;
г) пульсаційна швидкість.



6–19. На рисунку 6.2 зображена зміна впродовж часу позовжньої проекції вектора швидкості в довільній точці турбулентного потоку. Прямокутник шириною T рівновеликій фігурі, обмеженій кривою пульсації.

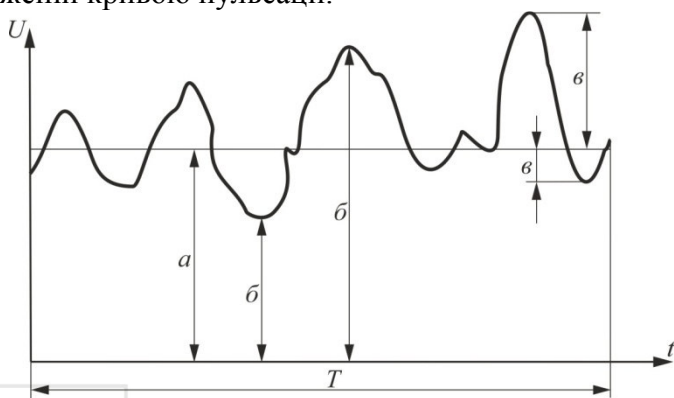


Рис. 6.2. Схема до п. 6–19

Якою буквою (а, б, в) позначена:

- 1) миттєва швидкість;
- 2) осереднена (впродовж часу T) швидкість;
- 3) пульсаційна швидкість.

6–20. Яким є можливим значення коефіцієнта кінетичної енергії α при розвинуеному турбулентному режимі:

- а) 1,1; б) 1,4; в) 1,8; г) 2,0; д) 2,3.

6–21. При якому значенні r швидкість в перерізі круглої напірної труби, радіуса r_0 , при розвинуеному турбулентному русі може дорівнювати середній швидкості (рис. 6.1):

- а) $r=0$; б) $r=0,32r_0$; в) $r=0,5r_0$; г) $r=0,71r_0$; д) $r=0,76r_0$.

6–22. Абсолютна шорсткість поверхні круглої труби $\Delta=0,45\text{мм}$. При якому значенні товщини ламінарного пристінного шару δ труба буде:



1) гідравлічно гладкою:

а) 0,5 мм; б) 0,4 мм; в) 0,3 мм; г) 0,2 мм; д) 0,1 мм.

2) гідравлічно шорсткою:

а) 0,7 мм; б) 0,6 мм; в) 0,5 мм; г) 0,4 мм; д) 0,3 мм.

6–23. Якою буквою (а, б, в, г, д) позначено схематично зображені на рис. 6.3 зони і області гідравлічних опорів по довжині:

1. область гладкостінного опору зони турбулентного руху;
2. область доквадратичного опору зони турбулентного руху;
3. область квадратичного опору зони турбулентного руху;
4. зона гідравлічних опорів при ламінарному русі;
5. перехідна (від ламінарного до турбулентного руху) зона гідравлічних опорів.

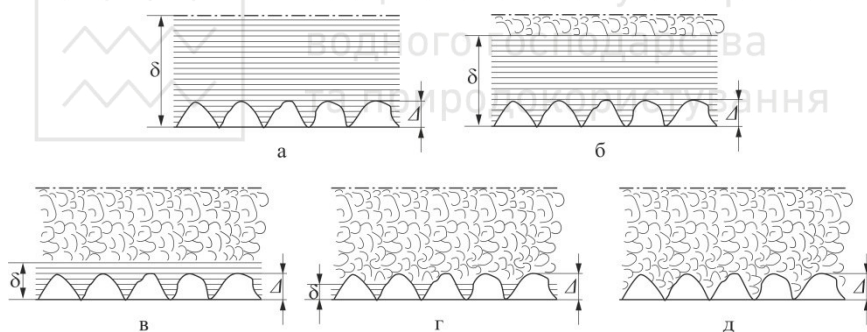


Рис. 6.3. Схеми до п. 6.23

6–24. В якій області зони гідравлічних опорів при турбулентному русі гідравлічний коефіцієнт тертя є функцією:

1. $\lambda = f(\text{Re})$;
2. $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{d}\right)$;
3. $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{d}\right)$.

- а) область гладкостінного опору зони турбулентного руху;
- б) область доквадратичного опору зони турбулентного руху;
- в) область квадратичного опору зони турбулентного руху.



6–25. По трубі, діаметром $d = 100$ мм, подається вода при температурі

$$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\nu = 0,0101\text{ см}^2/\text{с}) \quad \text{витратою } Q = 0,2\text{ л/с.}$$

1. Обчислене число Рейнольдса (за формулою з d) буде таким:

- а) 2,522; б) 25,22; в) 252,2; г) 2522.

2. Режим руху води в трубі:

- а) ламінарний; б) критичний; 3) турбулентний.

3. Зміна режиму руху води у даній трубі відбудеться при витраті:

- а) $18,39\text{ см}^3/\text{с}$; б) $183,9\text{ см}^3/\text{с}$; в) $1839\text{ см}^3/\text{с}$; г) $1,84\text{ л/с}$.

4. При витраті $Q = 0,2\text{ л/с}$ зміна режимів відбудеться при такому діаметрі труби d :

- а) $d = 10,87\text{ см}$; б) $d = 1,087\text{ см}$;
в) $d = 14,22\text{ см}$; г) $d = 10\text{ см}$.

5. Зміна режиму руху води відбудеться і при зміні температури води до значення:

- а) $t = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $t = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$; г) $t = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6. При витраті, визначеній у п. 3, середня швидкість у трубі буде дорівнювати:

- а) $2,34\text{ см/с}$; б) $23,4\text{ см/с}$; в) 234 см/с ; г) $0,234\text{ см/с}$.

6–26. На рис. 6.4 показана епюра швидкостей у круглій трубі радіуса $r_0 = 50$ мм при витраті $Q = 184\text{ см}^3/\text{с}$, при якій режим руху рідини ламінарний.

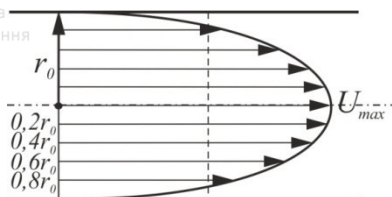


Рис.6–4. Схема до п.6–26

1. Яким буде значення швидкості на осі труби:
а) 2,34 см/с; б) 23,4 см/с; в) 4,68 см/с; г) 46,8 см/с.
2. Значення швидкості у точці, розташованій на відстані $r = 0,2 r_0$ від осі труби:
а) 2,25 см/с; б) 4,49 см/с; в) 23,4 см/с; г) 31,23 см/с.
3. Значення швидкості у точці, розташованій на відстані $r = 0,4 r_0$ від осі труби:
а) 2,01 см/с; б) 3,93 см/с; в) 20,6 см/с; г) 29,2 см/с.
4. Значення швидкості у точці, розташованій на відстані $r = 0,6 r_0$ від осі труби:
а) 1,74 см/с; б) 3,0 см/с; в) 17,6 см/с; г) 24,23 см/с.
5. Значення швидкості у точці, розташованій на відстані $r = 0,8 r_0$ від осі труби:
а) 1,34 см/с; б) 1,68 см/с; в) 13,4 см/с; г) 19,23 см/с.

6–27. Вода подається напірно по трубі квадратного перерізу розмірами $a \times a$ ($a = 20$ см) витратою $Q = 0,3$ л/с при температурі $t = 20^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,0101$ см²/с).

1. Обчислене число Рейнольдса буде таким:
а) 31,13; б) 371,3; в) 3713; г) 37130.
2. Режим руху води в трубі:
а) ламінарний; б) критичний; 3) турбулентний.



3. Зміна режиму руху води у трубі почне спостерігатись при витраті:

- а) $468,6 \text{ см}^3/\text{с}$; б) $46,86 \text{ см}^3/\text{с}$; в) $234,3 \text{ см}^3/\text{с}$; г) $0,94 \text{ л/с}$.

4. При витраті $Q = 0,3 \text{ л/с}$ зміна режимів відбудеться при розмірі труби a :

- а) $a = 8,2 \text{ см}$; б) $a = 10,8 \text{ см}$;
в) $a = 12,8 \text{ см}$; г) $a = 14,8 \text{ см}$.

5. Зміна режиму руху води відбудеться і при зміні температури води до значення:

- а) $t = 35^\circ\text{C}$; б) $t = 39^\circ\text{C}$; в) $t = 42^\circ\text{C}$; г) $t = 45^\circ\text{C}$.

6–28. Вода, витратою $Q = 0,25 \text{ л/с}$ при температурі $t = 10^\circ\text{C}$ ($\nu = 0,0131 \text{ см}^2/\text{с}$) і глибині потоку $h = 10 \text{ см}$ подається по прямокутному лотку шириною $b = 20 \text{ см}$.

1. Обчислене число Рейнольдса буде таким:

- а) 47,7; б) 477; в) 4770; г) 47000.

2. Режим руху води у лотку:

- а) ламінарний; б) критичний; 3) турбулентний.

3. Зміна режиму руху води у лотку почне спостерігатись при витраті:

- а) $0,3 \text{ л/с}$; б) $0,2 \text{ л/с}$; в) $0,4 \text{ л/с}$; г) $0,02 \text{ л/с}$.

4. При витраті $Q = 0,25 \text{ л/с}$ зміна режимів відбудеться при такому значенні глибини потоку у лотку:

- а) $h = 6,45 \text{ см}$; б) $h = 4,63 \text{ см}$;
в) $h = 7,70 \text{ см}$; г) $h = 8,28 \text{ см}$.

5. Зміна режиму руху води відбудеться і при зміні температури води до значення:

- а) $t = 13^\circ\text{C}$; б) $t = 15^\circ\text{C}$; в) $t = 17^\circ\text{C}$; г) $t = 19^\circ\text{C}$.



6–21. $0,76r_0$; 6–25.3. $183,9 \text{ см}^3/\text{с}$; 6–25.5. 17°C ;
6–26.3. $3,93 \text{ см/с}$; 6–27.5. 42°C ; 6–28.4. $6,45 \text{ см}$.

Розділ 7. Усталений рух рідини в напірних трубопроводах

Трубопроводи поділяються на короткі та довгі.

Короткими називають трубопроводи, в яких втрати напору по довжині і місцеві втрати напору є співмірними, тому при гідравлічних розрахунках таких трубопроводів враховуються обидва види втрат напору.

Довгими називають трубопроводи, в яких втрати напору по довжині значно перевищують місцеві втрати напору, тому при гідравлічних розрахунках таких трубопроводів місцевими втратами напору можна нехтувати.

Задачею розрахунків коротких трубопроводів є визначення їх пропускної спроможності, яка визначається за формулами, отриманими шляхом перетворень рівняння Бернуллі.

Якщо резервуари, що з'єднані коротким трубопроводом, відкриті (тобто манометричний тиск на поверхні рідини у них дорівнює нулю) такою формулою є: $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$,

де H :

а) у випадку витікання рідини в рідину – різниця відміток поверхонь рідини в резервуарах;

б) у випадку витікання рідини у газове середовище – напір на виході із труби в газове середовище.

μ – коефіцієнт витрати системи, який визначається за формулою:



а) у випадку витікання рідини в рідину: $\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta_c}}$;

б) у випадку витікання рідини у газове середовище:
$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta_c}},$$

де ζ_c – коефіцієнт опору системи, приведений до середньої швидкості в перерізі з площею ω .

У випадку з'єднання коротким трубопроводом двох закритих резервуарів з рідиною, на поверхні якої манометричні тиски p_{01} і p_{02} , то формулою для визначення витрати є:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g \left(H + \frac{p_{01}}{\rho g} - \frac{p_{02}}{\rho g} \right)}.$$

При розрахунку довгих трубопроводів розрізняють *вузлову витрату* (забирається у вузлі трубопроводу), *шляхову витрату* $Q_{ш}$, що безперервно роздається уздовж шляху ділянки трубопроводу, та *транзитну витрату* Q_m , тобто таку, що повністю пройшла по ділянці трубопроводу.

Втрати напору на ділянці довгого трубопроводу по довжині h_d визначаються за формулою:

$$h_d = \beta A_0 Q_p^2 \cdot l, \quad \text{або} \quad h_d = \beta \frac{Q_p^2}{K_0^2} l,$$

де A_0 та K_0 , відповідно, питомий опір та витратна характеристика, які залежать від матеріалу труб та їх діаметра, і значення яких наведені у довідниковій літературі (таблицях) для певних значень швидкості руху води у трубі.

Якщо дійсне значення швидкості відрізняється від значень швидкості, наведених у таблиці, то це враховується у формулі коефіцієнтом β , який залежить від швидкості і матеріалу труб.

При збільшенні діаметра труби значення A_0 зменшуються, значення K_0 збільшуються.



l – довжина ділянки трубопроводу.

Q_p – розрахункова витрата для ділянки, яка визначається за формулою:

$$Q_p = Q_m + 0,55Q_{ш.}$$

При розв'язуванні наведених нижче задач можна використувати спрощену формулу:

$$Q_p = Q_m + 0,5Q_{ш.}$$

Сполучення кількох трубопроводів різного діаметра одним за одним називають *послідовним сполученням*; при послідовному сполученні загальні втрати напору на трубопроводі дорівнюють сумі втрат напору на окремих його ділянках.

Сполучення кількох трубопроводів, що починаються і закінчуються у спільних вузлах, називають *паралельним сполученням*. При паралельному з'єднанні трубопроводів втрати напору по довжині на кожній із ділянок є однаковими незалежно від їх діаметрів і довжин.

У практиці водопостачання використовуються водопровідні мережі, які поділяють на розімкнуті або тупикові, замкнуті або кільцеві. Гідравлічними розрахунками визначаються діаметри труб на ділянках та п'єзометричні напори у вузлах мережі.

Особливістю кільцевої мережі є те, що у кільці є два різних напрямку руху води: за годинниковою стрілкою та проти неї. Зустріч вказаних потоків відбувається у спільній точці (точка водорозділу), тому загальні втрати напору по довжині ділянок обох потоків будуть однаковими.

7–1. Коротким називають трубопровід, при гідравлічному розрахунку якого:

а) можна знехтувати втратами напору по довжині, а враховувати тільки місцеві втрати напору;

б) можна знехтувати як місцевими втратами напору, так і втратами напору по довжині;



в) необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині;

г) необхідно враховувати тільки втрати напору по довжині, а місцевими втратами напору можна знехтувати.

7–2. Довгим називають трубопровід, при гідравлічному розрахунку якого:

а) необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині;

б) необхідно враховувати тільки втрати напору по довжині, а місцевими втратами напору можна знехтувати;

в) можна знехтувати втратами напору по довжині, а враховувати тільки місцеві втрати напору;

г) можна знехтувати як місцевими втратами напору, так і втратами напору по довжині.

7–3. Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати як місцеві втрати напору, так і втрати напору по довжині, називають:

а) насадок;

б) короткий трубопровід;

в) довгий трубопровід.

7–4. Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати втрати напору по довжині, а місцевими втратами напору можна знехтувати, називають:

а) насадок;

б) короткий трубопровід;

в) довгий трубопровід.

7–5. Трубу, при гідравлічному розрахунку якої необхідно враховувати місцеві втрати напору, а втратами напору по довжині можна знехтувати, називають:

а) насадок;

б) короткий трубопровід;



в) довгий трубопровід.

7–6. У випадку довгих трубопроводів:

- а) місцеві втрати напору значно перевищують втрати напору по довжині;
- б) втрати напору по довжині значно перевищують місцеві втрати напору;
- в) місцеві втрати напору і втрати напору по довжині є співмірними.

7–7. У випадку коротких трубопроводів:

- а) місцеві втрати напору і втрати напору по довжині є співмірними;
- б) місцеві втрати напору значно перевищують втрати напору по довжині;
- в) втрати напору по довжині значно перевищують місцеві втрати напору.

7–8. Два резервуари з'єднані коротким трубопроводом діаметром d , довжиною l і який містить кран. Глибини води у резервуарах H_1 і H_2 (рис. 7.1).

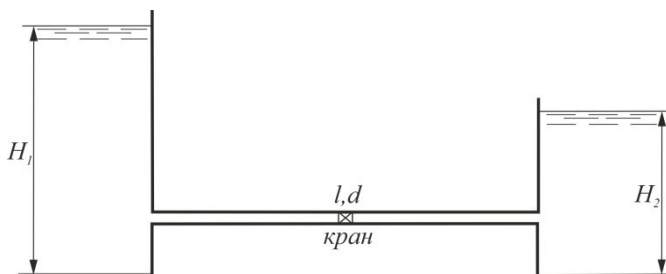


Рис. 7.1. Схема до п. 7–8

1. Якщо діаметр труби $d = 100$ мм, довжина $l = 20$ м, гідравлічний коефіцієнт тертя $\lambda = 0,03$, коефіцієнт опору входу із резервуара в трубу $\zeta_{ex} = 0,5$, коефіцієнт опору виходу із



труби в резервуар $\zeta_{вих} = 1,0$, коефіцієнт опору крана $\zeta_{кр} = 0,3$, то коефіцієнт витрати трубопроводу μ буде таким:

- а) 0,128; б) 0,358; в) 0,365; г) 0,383.

2. Якщо глибини води у резервуарах $H_1 = 5,0$ м і $H_2 = 2,0$ м, то витрата води Q , яка подається по трубопроводу, дорівнює:

- а) 23,1 л/с; б) 22,0 л/с; в) 21,6 л/с; г) 7,71 л/с.

3. Якщо на поверхні води у першому резервуарі манометричний тиск $p_0 = 9,81$ кПа, то витрата води Q буде такою:

- а) 26,7 л/с; б) 25,4 л/с; в) 24,9 л/с; г) 8,9 л/с.

7–9. Вода із напірного резервуара через короткий трубопровід діаметром d , довжиною l і який містить два повороти, витікає в атмосферу (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Схема до п. 7–9

1. Якщо діаметр труби $d = 50$ мм, довжина $l = 25$ м, гідравлічний коефіцієнт тертя $\lambda = 0,03$, коефіцієнт опору входу із резервуара в трубу $\zeta_{вх} = 0,5$, коефіцієнт опору повороту труби $\zeta_{пов} = 0,6$, коефіцієнт кінетичної енергії $\alpha = 1,0$, то коефіцієнт витрати трубопроводу μ буде таким:

- а) 0,238; б) 0,242; в) 0,246; г) 0,258.



2. Для пропуску через трубопровід витрати $Q = 50$ л/с повинен бути забезпечений напір H :

- а) 1,24 м; б) 1,37 м; в) 1,41 м; г) 1,46 м.

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

- а) 0,96 м; б) 0,91 м; в) 0,74 м; г) 0,87 м.

7-10. Два резервуари з'єднані довгим трубопроводом. h_d – втрати напору на ділянках трубопроводу. p_0 – манометричний тиск на поверхні води у резервуарах А і В (рис. 7.3).

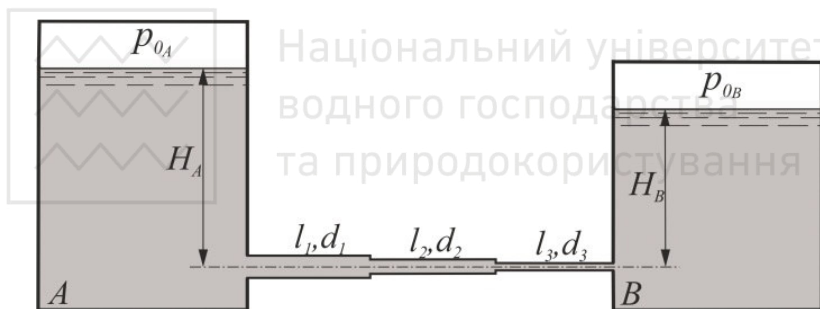


Рис. 7.3. Схема до п. 7–10

1. Відомо: $H_a = 22$ м, $H_в = 12$ м, $p_{0a} = 0,6$ атм, $h_{d1} = 5$ м, $h_{d2} = 4$ м, $h_{d3} = 3$ м.

Тиск $p_{0в}$ (у метрах водного стовпа) дорівнює:

- а) 4 м; б) 3 м; в) 2 м; г) 1 м; д) 0 м.

2. Відомо: $H_a = 20$ м, $p_{0a} = 0,2$ атм, $p_{0в} = 0$, $h_{d1} = 3$ м, $h_{d2} = 4$ м, $h_{d3} = 5$ м.

Значення $H_в$ буде таким:

- а) 14 м; б) 8 м; в) 12 м; г) 10 м; д) 6 м.



3. Відомо: $H_a = 20$ м, $H_e = 6$ м, $p_{0a} = 0,4$ атм, $p_{0e} = 0$, $h_{\partial 2} = 4$ м, $h_{\partial 3} = 3$ м.

Втрати напору на першій ділянці $h_{\partial 1}$ дорівнюють:

а) 14 м; б) 11 м; в) 9 м; г) 7 м; д) 5 м.

4. Відомо: $H_e = 6$ м, $p_{0a} = 0,2$ атм, $p_{0e} = 0$, $h_{\partial 1} = 5$ м, $h_{\partial 2} = 4$ м, $h_{\partial 3} = 3$ м.

Значення H_a буде таким:

а) 12 м; б) 14 м; в) 16 м; г) 18 м; д) 20 м.

5. Відомо: $H_a = 18$ м, $p_{0a} = 0,6$ атм, $p_{0e} = 0,4$ атм, $h_{\partial 1} = 5$ м, $h_{\partial 2} = 4$ м, $h_{\partial 3} = 3$ м.

Значення H_e буде таким:

а) 10 м; б) 8 м; в) 6 м; г) 4 м; д) 2 м.

6. Відомо: $H_a = 10$ м, $H_e = 4$ м, $p_{0e} = 0$, $h_{\partial 1} = 5$ м, $h_{\partial 2} = 4$ м, $h_{\partial 3} = 3$ м.

Тиск p_{0a} (у метрах водного стовпа) дорівнює:

а) 7 м; б) 6 м; в) 5 м; г) 4 м; д) 3 м.

7. Відомо: $H_a = 18$ м, $H_e = 2$ м, $p_{0a} = 0$ атм, $p_{0e} = 0,2$ атм, $h_{\partial 1} = 5$ м, $h_{\partial 2} = 4$ м.

Втрати напору на третій ділянці $h_{\partial 3}$ дорівнюють:

а) 4 м; б) 3 м; в) 5 м; г) 6 м; д) 7 м.

8. Відомо: $H_a = 20$ м, $H_e = 4$ м, $p_{0a} = 0$ атм, $h_{\partial 1} = 5$ м, $h_{\partial 2} = 4$ м, $h_{\partial 3} = 3$ м.

Тиск p_{0e} (у метрах водного стовпа) дорівнює:

а) 4 м; б) 5 м; в) 6 м; г) 7 м; д) 8 м.

7–11. Довгий трубопровід $d_1 > d_2$ (рис. 7.4).

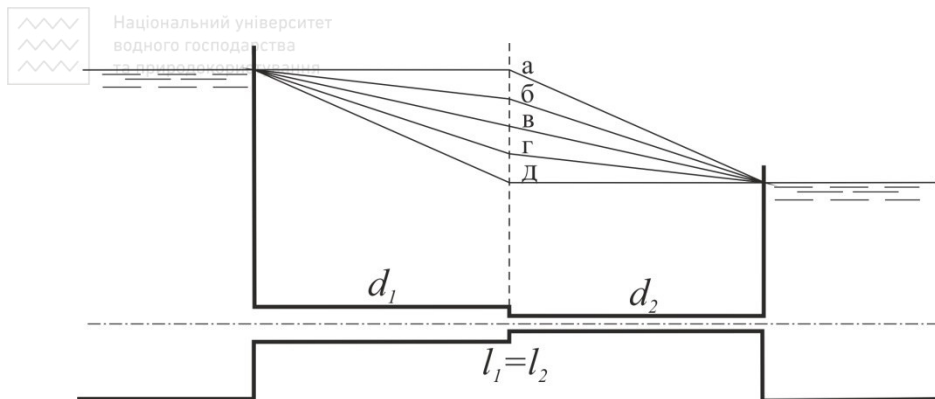


Рис. 7.4. Схема до п. 7–11

Яка із запропонованих п'єзометричних ліній є правильною:

- а) а; б) б; в) в; г) г; д) д.

7–12. Довгий трубопровід $d_1 < d_2$ (рис. 7.5).

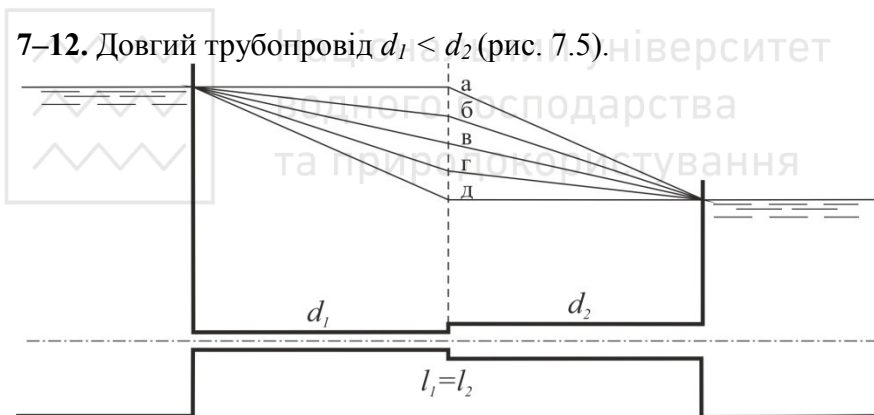


Рис. 7.5. Схема до п. 7–12

Яка із запропонованих п'єзометричних ліній є правильною:

- а) а; б) б; в) в; г) г; д) д.

7–13. Послідовне з'єднання довгих трубопроводів з однакового матеріалу, однакових діаметрів ($d_1 = d_2 = d_3$), однакової довжини ($l_1 = l_2 = l_3$). Витрати води у вузлах $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 10$ л/с. h_0 – втрати напору по довжині на ділянці (рис. 7.6).

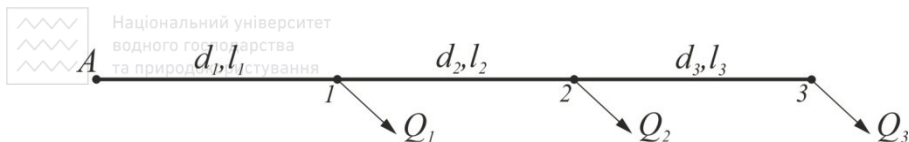


Рис. 7.6. Схема до п. 7–13

Яке співвідношення між втратами напору h_d на ділянках є правильним (коефіцієнт $\beta = 1$):

- а) $h_{d1} = h_{d2} = h_{d3}$; б) $0,11 h_{d1} = 0,25 h_{d2} = h_{d3}$;
в) $9 h_{d1} = 4 h_{d2} = h_{d3}$; г) $0,27 h_{d1} = 0,38 h_{d2} = h_{d3}$.

7–14. Рисунок до п. 7–13. $d_1 = d_2 = d_3$, $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 10$ л/с, $l_1 = 100$ м, $l_2 = 200$ м, $l_3 = 300$ м. Яке співвідношення між втратами напору h_d на ділянках є правильним (коефіцієнт $\beta = 1$):

- а) $h_{d1} = h_{d2} = h_{d3}$; б) $0,11 h_{d1} = 0,25 h_{d2} = h_{d3}$;
в) $0,33 h_{d1} = 0,375 h_{d2} = h_{d3}$; г) $9 h_{d1} = 8 h_{d2} = 3 h_{d3}$.

7–15. Рисунок до п. 7–13. $l_1 = l_2 = l_3$, $d_1 = 100$ мм, $d_2 = 150$ мм, $d_3 = 100$ мм, $Q_1 = 0$, $Q_2 = 0$. Яке співвідношення між втратами напору h_d на ділянках є правильним (коефіцієнт $\beta = 1$):

- а) $h_{d1} = h_{d2} = h_{d3}$; б) $h_{d1} < h_{d2} < h_{d3}$;
в) $h_{d1} = h_{d3} > h_{d2}$; г) $h_{d1} > h_{d2} > h_{d3}$; д) $h_{d1} = h_{d3} < h_{d2}$.

7–16. Паралельне з'єднання довгих трубопроводів. l_1, l_2, l_3 – довжини ділянок, d_1, d_2, d_3 – діаметри труб на ділянках, Q_1, Q_2, Q_3 – витрати води на ділянках (рис. 7.7).

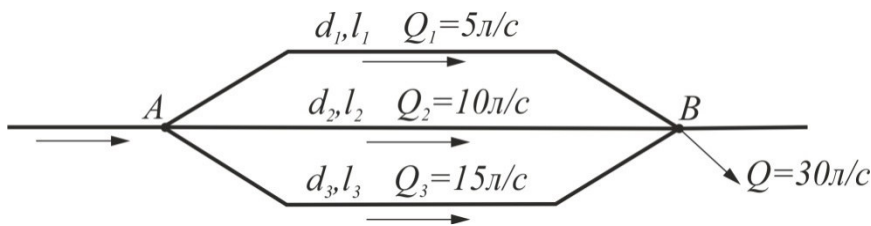


Рис. 7.7. Схема до п. 7–16



Яке співвідношення між втратами напору h_{∂} на кожній з ділянок є правильним:

- а) $h_{\partial 1} > h_{\partial 2} > h_{\partial 3}$; б) $h_{\partial 1} = h_{\partial 2} = h_{\partial 3}$;
в) $h_{\partial 1} < h_{\partial 2} < h_{\partial 3}$; г) $h_{\partial 1} + h_{\partial 2} = h_{\partial 3}$.

7–17. Паралельне з'єднання довгих трубопроводів (рис. 7.8).

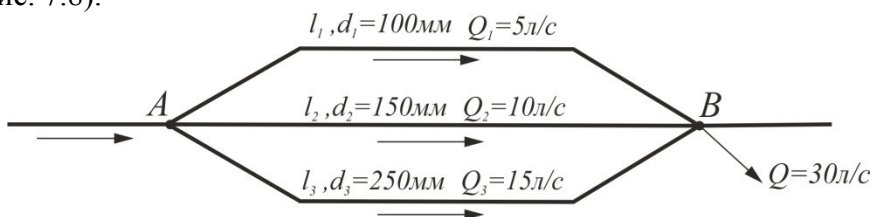


Рис. 7.8. Схема до п. 7–17

Яке співвідношення між втратами напору h_{∂} на кожній з ділянок є правильним:

- а) $h_{\partial 1} = h_{\partial 2} = h_{\partial 3}$; б) $h_{\partial 1} < h_{\partial 2} < h_{\partial 3}$;
в) $h_{\partial 1} + h_{\partial 2} = h_{\partial 3}$; г) $h_{\partial 1} > h_{\partial 2} > h_{\partial 3}$.

7–18. Довгий трубопровід. Q – витрати у вузлах і по ділянках трубопроводу (рис. 7.9).

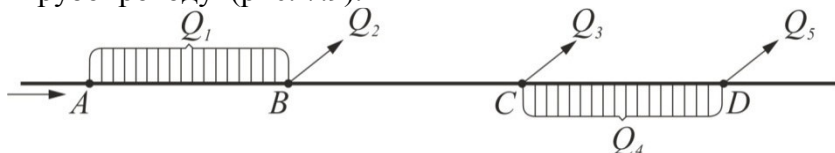


Рис. 7.9. Схема до п. 7–18

1. Яка витрата є транзитною для ділянки АВ:

- а) $Q_2 + Q_3 + 0,5Q_4 + Q_5$; б) $Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$; в) Q_2 ;
г) $Q_2 + Q_3 + Q_5$; д) $Q_2 + 0,5Q_1$.

2. Яка витрата є транзитною для ділянки ВС:

- а) $0,5Q_4 + Q_5$; б) Q_3 ; в) $Q_3 + Q_4 + Q_5$; г) $Q_3 + 0,5Q_4 + Q_5$.



3. Яка витрата є транзитною для ділянки СД:

- а) Q_5 ; б) $0,5Q_4+Q_5$; в) Q_4+Q_5 ; г) $Q_3+Q_4+Q_5$.

7–19. Вода з напірного резервуара (т. А) подається споживачу (т. В) при напорі $H_A - H_B = 20$ м по горизонтальному сталевому трубопроводу діаметром $d = 200$ мм ($A_0 = 7,738$ с²/м⁶) і довжиною $l = 800$ м (рис. 7.10).

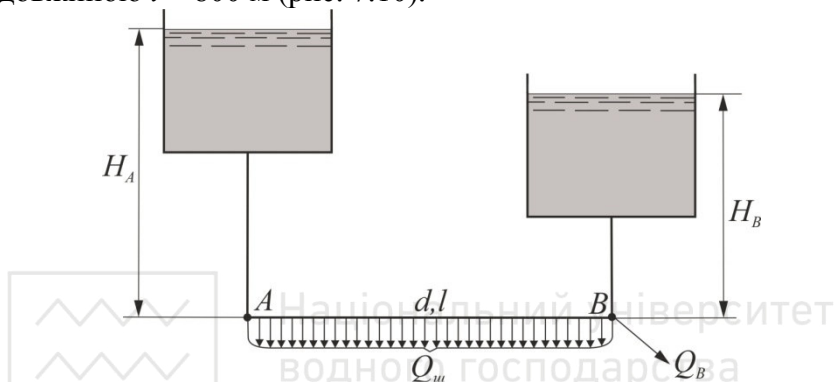


Рис. 7.10. Схема до п. 7–19

1. З формули $h_d = \beta A_0 Q_p^2 \cdot l$ розрахункова витрата на ділянці Q_p є такою (прийняти коефіцієнт $\beta = 1$):

- а) 63,1 л/с; б) 56,8 л/с; в) 49,2 л/с; г) 41,4 л/с.

2. Якщо шляхова витрата $Q_{ш} = 30$ л/с, то споживачу у пункт В буде подана витрата (транзитна) Q_B :

- а) 41,8 л/с; б) 34,2 л/с; в) 26,4 л/с; г) 48,1 л/с.

3. У випадку припинення транзитної витрати шляхова витрата $Q_{ш}$ буде такою:

- а) 126,2 л/с; б) 113,6 л/с; в) 98,4 л/с; г) 82,8 л/с.

4. При відсутності шляхової витрати максимально можлива транзитна витрата є:

- а) 63,1 л/с; б) 56,8 л/с; в) 49,2 л/с; г) 41,4 л/с.



7–20. Вода подається в пункт В з резервуарів, розташованих у пунктах А і С по сталених трубопроводах діаметрів $d_1 = 200$ мм ($A_{01} = 7,738$ с²/м⁶) і $d_2 = 150$ мм ($A_{02} = 34,84$ с²/м⁶), які мають довжини $l_1 = 300$ м, $l_2 = 400$ м. Напори у пунктах: $H_A = 30$ м, $H_C = 20$ м, найменший у пункті В $H_B = 10$ м (рис. 7–11).

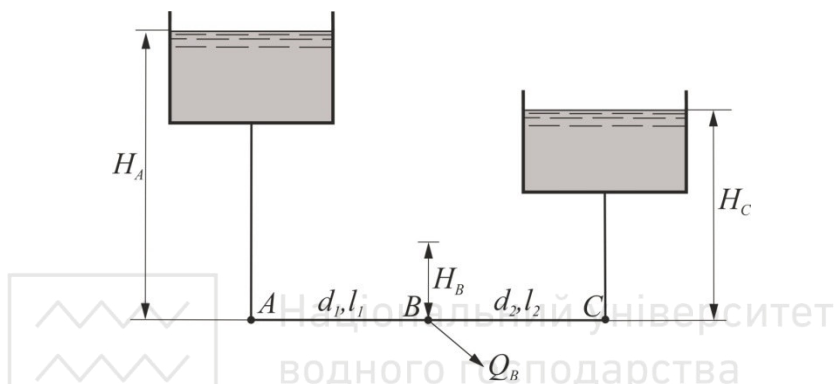


Рис. 7–11. Схема до п. 7–20

1. Витрата води, що поступить у резервуар С з резервуару А при відсутності забору води у пункті В, дорівнює (прийняти коефіцієнт $\beta = 1$):

- а) 17,5 л/с; б) 21,6 л/с; в) 24,8 л/с; г) 27,9 л/с.

2. При відсутності забору води у пункті В п'єзометричний напір у ньому H_B буде таким:

- а) 29,18 м; б) 28,57 м; в) 27,10 м; г) 26,12 м.

3. Якщо п'єзометричний напір $H_B = 25$ м, то витрата води на ділянці АВ така:

- а) 46,41 л/с; б) 43,12 л/с; в) 40,09 л/с; г) 38,40 л/с;

а на ділянці ВС:

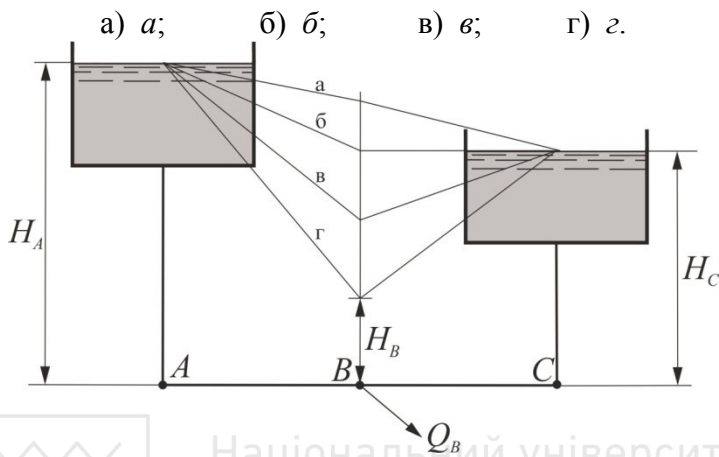
- а) 21,4 л/с; б) 18,94 л/с; в) 16,24 л/с; г) 14,11 л/с;

тобто у пункті В буде забрана витрата Q_B :

- а) 21,72 л/с; б) 24,18 л/с; в) 22,16 л/с; г) 27,47 л/с.



4. Із запропонованих (рис. 7.12) п'єзометричних ліній правильним для п. 7–20.3 є варіант:



5. Резервуар С буде виключений з роботи при витраті води у пункті В Q_B :

- а) 21,72 л/с; б) 44,18 л/с; в) 65,63 л/с; г) 77,48 л/с;

а правильна п'єзометрична лінія представлена (рис. 7.12) у варіанті:

- а) а; б) б; в) в; г) г.

6. Сумарна витрата у пункті В з двох резервуарів буде дорівнювати 80 л/с при напорі H_B :

- а) 16,8 м; б) 17,5 м; в) 18,6 м; г) 19,1 м;

і витратам води з резервуару А:

- а) 50 л/с; б) 60 л/с; в) 70 л/с; г) 75 л/с;

з резервуару С:

- а) 30 л/с; б) 20 л/с; в) 10 л/с; г) 5 л/с;



а правильна п'єзометрична лінія представлена (рис. 7.12) у варіанті:

- а) а; б) б; в) в; г) г.

7. Максимальна витрата у пункті В з двох резервуарів $Q_{В\max}$ буде дорівнювати:

- а) 94,9 л/с; б) 108,2 л/с; в) 119,6 л/с; г) 124,0 л/с;

як сума витрат води – з резервуару А:

- а) 85,72 л/с; б) 94,18 л/с; в) 103,06 л/с; г) 92,82 л/с;

з резервуару С:

- а) 9,18 л/с; б) 14,02 л/с; в) 20,94 л/с; г) 26,78 л/с;

а правильна п'єзометрична лінія представлена (рис. 7.12) у варіанті:

- а) а; б) б; в) в; г) г.

7–21. В пункті А встановлений насос, який під манометричним тиском $p = 19,62$ кПа подає воду витратою $Q_I = 50$ л/с у резервуари D і C (рис. 7.13).

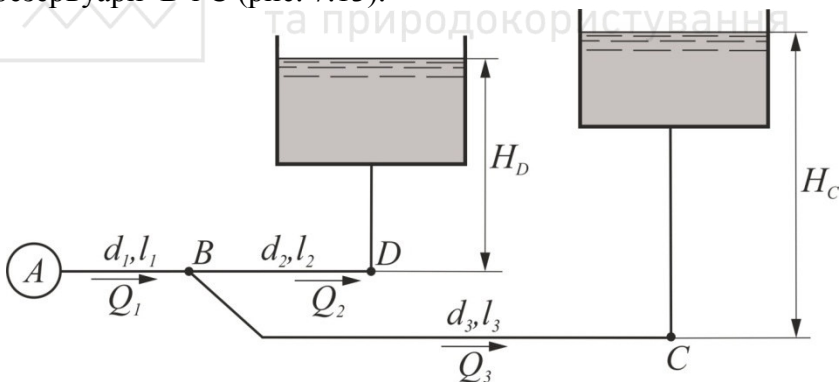


Рис. 7.13. Схема до п. 7–21

1. П'єзометричний напір у пункті А дорівнює:

- а) 14 м; б) 18 м; в) 20 м; г) 22 м.

2. Якщо довжина ділянки АВ $l_I = 200$ м, а діаметр сталюого трубопроводу $d_I = 200$ мм ($A_{01} = 7,738$ с²/м⁶), то втрати напору



по довжині h_{01} на ділянці будуть такими (прийняти коефіцієнт $\beta = 1$):

а) 3,87 м; б) 4,18 м; в) 5,34 м; г) 2,12 м;

а п'єзометричний напір у пункті В буде дорівнювати:

а) 15,82 м; б) 14,66 м; в) 17,88 м; г) 16,13 м.

3. При п'єзометричному напорі у пункті D $H_D = 14$ м по сталій трубі діаметра $d_2 = 150$ мм ($A_{02} = 34,84$ $\text{с}^2/\text{м}^6$) і довжиною $l_2 = 300$ м у пункт D буде надана витрата води Q_2 :

а) 10,12 л/с; б) 14,27 л/с; в) 18,10 л/с; г) 19,61 л/с.

4. У пункт С буде подаватися вода витратою Q_3 :

а) 39,88 л/с; б) 31,90 л/с; в) 30,39 л/с; г) 35,73 л/с.

5. Якщо $d_3 = 200$ мм ($A_{01} = 7,738$ $\text{с}^2/\text{м}^6$), довжина $l_3 = 250$ м, то втрати напору на ділянці ВС будуть дорівнювати:

а) 1,79 м; б) 1,97 м; в) 2,47 м; г) 3,08 м;

а п'єзометричний напір у пункті С буде таким:

а) 14,34 м; б) 14,16 м; в) 13,66 м; г) 13,05 м.

7–22. На рис. 7.14 зображено розімкнену водопровідну мережу. У пункті А знаходиться водонапірна вежа. Q – витрати у вузлах і на ділянках мережі (значення задані), ∇ – відмітки п'єзометричної лінії у вузлових точках.

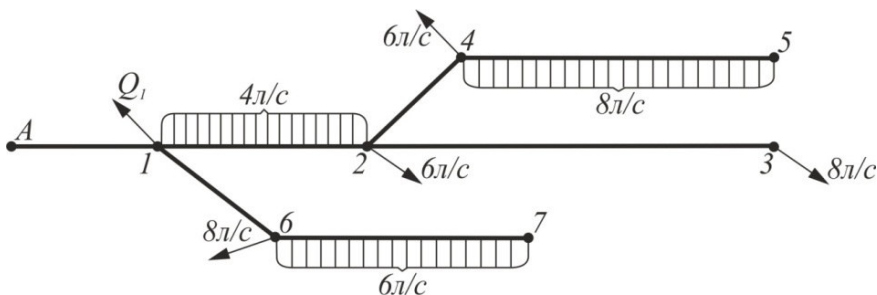


Рис. 7.14. Схема до п. 7–22



1. Розрахункова витрата для ділянки 1–2 буде такою:
а) 8 л/с; б) 10 л/с; в) 26 л/с; г) 30 л/с; д) 39 л/с.
2. Розрахункова витрата для ділянки 1–6:
а) 6 л/с; б) 8 л/с; в) 11 л/с; г) 13 л/с; д) 14 л/с.
3. Розрахункова витрата для ділянки 2–4:
а) 6 л/с; б) 12 л/с; в) 14 л/с; г) 16 л/с; д) 22 л/с.
4. Якщо розрахункова витрата для ділянки $A-1 = 52$ л/с, то вузлова витрата Q_1 :
а) 2 л/с; б) 4 л/с; в) 6 л/с; г) 8 л/с; д) 10 л/с.

7–23. Рис. до п. 7.22. Відмітки п'єзометричної лінії у вузлах: $\nabla_7 = 10$ м, $\nabla_5 = 12$ м, втрати напору на ділянках мережі: $h_{06-7} = 6$ м, $h_{06-1} = 4$ м, $h_{01-2} = 5$ м, $h_{02-3} = 3$ м, $h_{04-5} = 1$ м, $h_{02-4} = 2$ м. Відмітка п'єзометричної лінії у пункті 3 буде такою:
а) 14 м; б) 12 м; в) 10 м; г) 8 м; д) 6 м.

7–24. На рис. 7.15 зображено розімкнену водопровідну мережу. У пункті А знаходиться водонапірна вежа. Q – витрати у вузлах і на ділянках мережі (значення задані), ∇ – відмітки п'єзометричної лінії у вузлових точках.

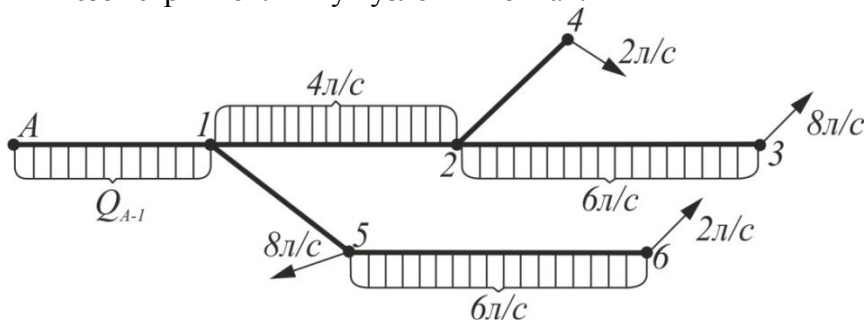


Рис. 7.15.Схема до п. 7–24



1. Розрахункова витрата для ділянки 1–2 буде такою:
а) 2 л/с; б) 18 л/с; в) 20 л/с; г) 28 л/с; д) 36 л/с.
2. Розрахункова витрата для ділянки 5–6:
а) 5 л/с; б) 8 л/с; в) 10 л/с; г) 13 л/с; д) 16 л/с.
3. Розрахункова витрата для ділянки 1–5:
а) 8 л/с; б) 10 л/с; в) 13 л/с; г) 14 л/с; д) 16 л/с.
4. Якщо розрахункова витрата для ділянки $A-1 = 40$ л/с, то шляхова витрата Q_{A-1} є такою:
а) 2 л/с; б) 4 л/с; в) 6 л/с; г) 8 л/с; д) 10 л/с.

7-25. Рисунок до п. 7–24. Відмітки п'єзометричної лінії у вузлах: $\nabla_4 = 10$ м, $\nabla_3 = 15$ м, $\nabla_6 = 20$ м; втрати напору на ділянках мережі: $h_{02-4} = 6$ м, $h_{02-3} = 1$ м, $h_{01-2} = 8$ м, $h_{01-5} = 3$ м. Втрати напору на ділянці 5–6 мережі є такими:

- а) 5 м; б) 4 м; в) 3 м; г) 2 м; д) 1 м.

7-26. На рис. 7.16 зображено розімкнену водопровідну мережу. У пункті А знаходиться водонапірна вежа. Q – витрати у вузлах і на ділянках мережі (значення задані), ∇ – відмітки п'єзометричної лінії у вузлових точках.

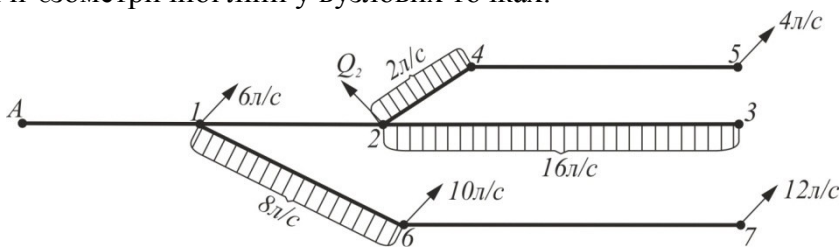


Рис. 7–16. Схема до п. 7–26

1. Якщо розрахункова витрата для ділянки 1–2 дорівнює 32 л/с, то витрата Q_2 повинна бути такою:
а) 6 л/с; б) 8 л/с; в) 10 л/с; г) 12 л/с; д) 14 л/с.



2. Розрахункова витрата для ділянки 1–6:

- а) 8 л/с; б) 26 л/с; в) 30 л/с; г) 32 л/с; д) 36 л/с.

3. Розрахункова витрата для ділянки А–1:

- а) 6 л/с; б) 22 л/с; в) 36 л/с; г) 68 л/с; д) 72 л/с.

7-27. Рис. до п. 7–26. Відмітки п'єзометричної лінії у вузлах: $\nabla_7 = 10$ м, $\nabla_5 = 12$ м, $\nabla_3 = 12$ м; втрати напору на ділянках мережі: $h_{\partial 2-4} = 2$ м, $h_{\partial 2-3} = 3$ м, $h_{\partial 1-2} = 5$ м, $h_{\partial 6-7} = 6$ м, $h_{\partial 4-5} = 1$ м. Втрати напору на ділянці 1–6 мережі є такими:

- а) 5 м; б) 4 м; в) 3 м; г) 2 м; д) 1 м.

7-28. При розрахунку кільцевої мережі, схема якої наведена на рис. 7.17, обчислені втрати напору на ділянках мережі є такими: $h_{\partial 1-2} = 2$ м, $h_{\partial 2-3} = 4$ м, $h_{\partial 3-4} = 8$ м, $h_{\partial 4-5} = 2$ м, $h_{\partial 5-6} = 4$ м, $h_{\partial 6-1} = 12$ м.

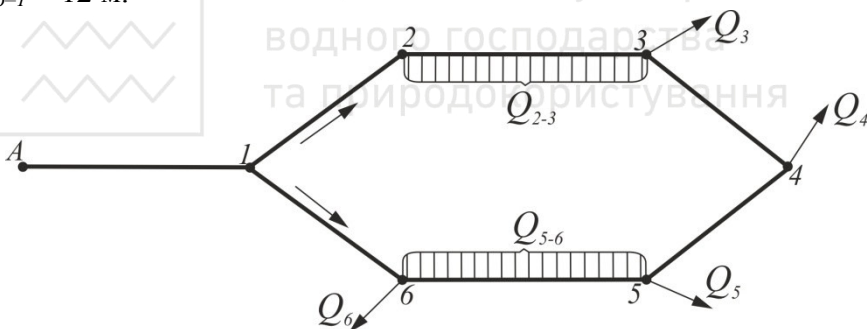


Рис. 7.17. Схема до п. 7–28

В якому вузлі відбудеться злиття потоків:

- а) т. 2; б) т. 3; в) т. 4; г) т. 5; д) т. 6.

7-29. Рис. до п. 7–28. Якщо втрати напору на ділянках кільцевої мережі будуть такими: $h_{\partial 1-2} = 2$ м, $h_{\partial 2-3} = 8$ м, $h_{\partial 3-4} = 1$ м, $h_{\partial 4-5} = 5$ м, $h_{\partial 5-6} = 6$ м, $h_{\partial 6-1} = 22$ м, то злиття потоків відбудеться у вузлі:

- а) т. 2; б) т. 3; в) т. 4; г) т. 5; д) т. 6.



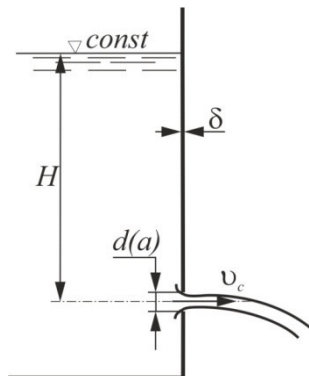
7–8.2. 21,6 л/с; 7–9.3. 0,96 м; 7–10.4. 16 м;
7–14. 0,33 $h_{\partial 1} = 0,375$ $h_{\partial 2} = h_{\partial 3}$; 7–19.3. 113,6 л/с;
7–20.5. 65,63 л/с; 7–21.3. 14,27 л/с; 7–24.3. 16 л/с.

Розділ 8. Витікання рідини через отвори і насадки при усталеному русі

Витікання рідини з малого отвору в тонкій стінці

Малим називають отвір, в усіх точках якого геометричний напір H практично однаковий, що можливо у випадку, коли вертикальні розміри отвору (висота прямокутного отвору – a , діаметр круглого – d) не перевищують $0,1H$.

Тонкою називають стінку, товщина якої δ не впливає на умови витікання рідини (струмина, що витікає з отвору, не торкається внутрішньої поверхні отвору). Критерієм тонкої стінки є співвідношення $\delta < (3...4)d(a)$.



Витрата рідини з малого отвору у тонкій стінці при сталому напорі визначається за формулою



$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \left(H + \frac{p_{01}}{\rho g} - \frac{p_{02}}{\rho g} \right)},$$

де $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ – коефіцієнт витрати отвору (φ – коефіцієнт швидкості, ε – коефіцієнт стиснення струмینی при витіканні з отвору і який становить відношення площі струмینی у стисненому перерізі до площі отвору), ω – площа отвору, p_{01} – тиск на вільній поверхні рідини, p_{02} – тиск у середовищі, в яке відбувається витікання.

При витіканні з відкритого резервуара в атмосферу наведене рівняння спрощується: $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH}$.

Якщо резервуар закритий і на поверхні рідини в ньому манометричний тиск дорівнює p_0 , то

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g \left(H + \frac{p_0}{\rho g} \right)}.$$

Зазначимо, що наведені формули отримані при нехтуванні величиною швидкісного напору у перерізі на поверхні рідини у резервуарі.

На ступінь стиснення струмینی, що витікає з отвору, впливає місце розташування отвору по відношенню до бокових стінок і дна резервуару.

При *досконалому стисненні* бокові стінки і дно резервуару не впливають на ступінь стиснення струмینی. Досконале стиснення має місце, коли відстань від краю отвору до найближчої стінки, або до дна резервуару більша, ніж розміри трьох отворів у цьому напрямі.

Коефіцієнти витрати, швидкості, стиснення при досконалому стисненні є практично сталими при числах Рейнольдса $Re > 10^5$ і при розрахунках можуть бути прийняті такими: $\mu = 0,62$, $\varphi = 0,97$, $\varepsilon = 0,64$.

При *недосконалому стисненні*, коли відстань від краю отвору до найближчої стінки, або до дна резервуару менша,



ніж розміри трьох отворів у цьому напрямі, коефіцієнт витрати є більшим, порівняно з досконалим стисненням, і його можна визначити за формулою

$$\mu_{нед} = \mu \left[1 + 0,64 \left(\frac{\omega}{\Omega} \right)^2 \right],$$

де Ω – площа змоченої частини стінки, в якій розташований отвір.

При *неповному стисненні*, коли частина периметра отвору співпадає з боковою стінкою, або з дном резервуару коефіцієнт витрати також є більшим, порівняно з досконалим стисненням, і його можна визначити за формулою

$$\mu_{неп} = \mu \left(1 + k \cdot \frac{p_1}{p} \right),$$

де p і p_1 , відповідно, периметр отвору та його частини, на якій відсутнє стиснення; k – коефіцієнт, який залежить від форми отвору (для круглих отворів $k = 0,13$, для квадратних $k = 0,15$).

Траєкторія струмینی – вісь струмینی, що вільно падає при витіканні з отвору

Координати x та y будь-якої точки траєкторії струмینی можна визначити за формулою $x = 2\varphi\sqrt{H \cdot y}$.

У випадку витікання рідини з малого отвору в рідину її витрату Q можна визначити за наведеними вище формулами, де H – різниця рівнів у резервуарах.

Витікання рідини з насадків

Насадком називають короткий напірний патрубок, при гідравлічному розрахунку якого нехтують втратами напору по довжині, а враховують тільки місцеві втрати напору. Критерій



насадка – $l_n = (3...4)d$, де l_n – довжина насадка, d – діаметр насадка.

На виході насадок працює повним перерізом, тому коефіцієнт стиснення струмини при виході із насадка $\varepsilon = 1$.

Насадки широко використовуються в техніці. Їх види визначаються практичними цілями. Розрізняють такі типи насадків:

– зовнішній циліндричний насадок: $\mu = 0,82$, $\varphi = 0,82$, $\zeta = 0,49$;

– внутрішній циліндричний насадок: $\mu = 0,71$, $\varphi = 0,71$, $\zeta = 0,98$;

– конічно-збіжний насадок (при куті $\theta = 13^\circ$): $\mu = 0,95$, $\varphi = 0,97$, $\zeta = 0,06$;

– конічно-розбіжний насадок (при куті $\theta = 5^\circ$): $\mu = 0,47$, $\varphi = 0,47$, $\zeta = 3,5$;

– коноідальний насадок: $\mu = 0,97$, $\varphi = 0,97$, $\zeta = 0,06$.

При витіканні рідини з насадка у ньому утворюється вакуум, внаслідок чого рідина підсмоктується з резервуару. Тому коефіцієнт витрати для насадка є більшим, ніж для отвору у тонкій стінці того ж діаметра.

Витрата при витіканні через насадок визначається за формулами, що і при витіканні з малого отвору.

8–1. Діаметр круглого отвору, з якого витікає рідина, $d = 10$ см. При якому напорі H отвір вважається гідравлічно малим:

а) 20 см; б) 40 см; в) 60 см; г) 80 см; д) 100 см.

8–2. Напір над центром отвору $H = 100$ см. При якому діаметрі d отвір вважається гідравлічно малим:

а) 5 см; б) 15 см; в) 25 см; г) 35 см; д) 50 см.



8-3. 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:

- а) $a = 16$ см, $b = 4$ см; б) $a = 14$ см, $b = 6$ см;
в) $a = 12$ см, $b = 14$ см; г) $a = 8$ см, $b = 12$ см;
д) $a = 12$ см, $b = 8$ см.

8-4. У стінці резервуару з водою, товщиною $\delta = 5$ см, зроблений отвір діаметром d . При якому значенні d стінка вважається гідравлічно тонкою:

- а) 0,6 см; б) 0,8 см; в) 1,0 см; г) 1,2 см; д) 1,5 см.

8-5. У стінці резервуару з водою зроблений отвір діаметром $d = 3$ см. При якій парі значень товщини стінки δ стінка буде гідравлічно тонкою:

- а) 4 см, 10 см; б) 7 см, 8 см; в) 3 см, 11 см; г) 5 см, 12 см.

8-6. Якщо площа стисненого перерізу при витіканні з малого отвору $\omega_c = 3$ см², то площа отвору, при якому коефіцієнт стиснення $\varepsilon = 0,64$, повинна дорівнювати:

- а) 2,04 см²; б) 3,12 см²; в) 4,69 см²; г) 5,49 см²; д) 6,02 см².

8-7. При якому діаметрі отвору d площа стисненого перерізу при витіканні рідини з отвору з коефіцієнтом стиснення $\varepsilon = 0,64$ дорівнює $\omega_c = 4,52$ см²:

- а) 2 см; б) 2,5 см; в) 3,0 см; г) 3,5 см; д) 4,0 см.

8-8. Яке співвідношення між коефіцієнтами стиснення ε , швидкості φ , витрати μ , при витіканні з малого отвору є правильним:

- а) $\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$; б) $\varepsilon = \frac{\varphi}{\mu}$; в) $\mu = \frac{\varphi}{\varepsilon}$; г) $\varphi = \varepsilon \mu$.



8–9. Який вираз є правильним для визначення витрати Q при витіканні з малого отвору в атмосферу при площі отвору ω і напорі H :

- а) $\varepsilon \cdot \omega \sqrt{2gH}$; б) $\varphi \omega \sqrt{2gH}$;
в) $\varepsilon \mu \omega \sqrt{2gH}$; г) $\varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH}$.

8–10. У стінці резервуару зроблений малий отвір розмірами $a = b = 10$ см, який розташований на відстані m від дна резервуару і на відстані n від його бокової стінки (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Схема до п. 8–10

При яких значеннях m і n стиснення струмини при витіканні з малого отвору буде досконалим:

- а) $m = 10$ см, $n = 40$ см; б) $m = 20$ см, $n = 40$ см;
в) $m = 40$ см, $n = 40$ см; г) $m = 40$ см, $n = 0$ см.

8–11. Рисунок 8.1. При яких значеннях m і n стиснення струмини при витіканні з малого отвору розмірами $a = b = 5,0$ см буде недосконалим:

- а) $m = 18$ см, $n = 17$ см; б) $m = 20$ см, $n = 20$ см;
в) $m = 20$ см, $n = 25$ см; г) $m = 10$ см, $n = 12$ см.

8–12. Рисунок 8.1. При яких значеннях m і n стиснення струмини при витіканні з малого отвору розмірами $a = b = 10,0$ см буде неповним:

а) $m = 14$ см, $n = 10$ см;в) $m = 22$ см, $n = 25$ см;б) $m = 20$ см, $n = 0$ см;г) $m = 14$ см, $n = 12$ см.

8–13. Рисунок 8.1. При яких значеннях m і n витрата води, що витікає з малого отвору, розмірами $a = b = 5,0$ см, буде найбільшою за іншими однаковими умовами (однаковому напорі H):

а) $m = 18$ см, $n = 17$ см;б) $m = 20$ см, $n = 20$ см;в) $m = 20$ см, $n = 25$ см;г) $m = 10$ см, $n = 12$ см.

8–14. У дні закритого резервуару з водою, розмірами 1 м $\times$ 1 м, розташовані чотири квадратних отвори із стороною $a = 0,1$ м (рис. 8.2).

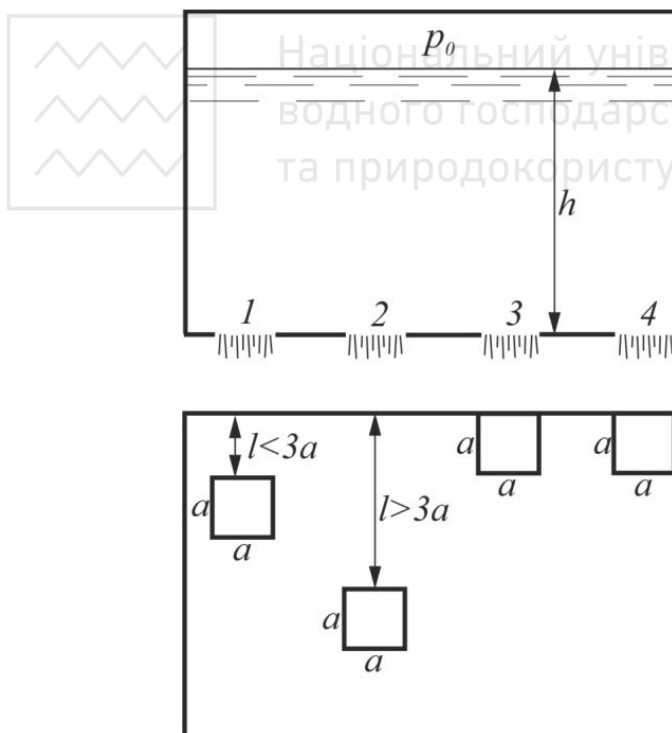


Рис. 8.2. Схема до п. 8–14



1. Яким є значення коефіцієнта витрати μ :
для отвору 1: для отвору 2: для отвору 3: для отвору 4:
а) 0,62; б) 0,624; в) 0,643; г) 0,667.
2. Сумарна витрата рідини з отворів при глибині води у резервуарі $h=1,4$ м і манометричному тиску на поверхні рідини $p_0 = 0$ дорівнює:
а) $0,092 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $0,114 \text{ м}^3/\text{с}$; в) $0,134 \text{ м}^3/\text{с}$; г) $0,146 \text{ м}^3/\text{с}$.
3. Співвідношення між знайденою витратою та витратою з отворів при витіканні з яких стиснення струмини буде досконалим:
а) 1,01; б) 1,03; в) 1,05; г) 1,07; д) 1,09.
4. Витрата з отворів при манометричному тиску на поверхні рідини $p_0 = 0,1$ атм дорівнює:
а) $0,145 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $0,155 \text{ м}^3/\text{с}$; в) $0,165 \text{ м}^3/\text{с}$;
г) $0,175 \text{ м}^3/\text{с}$; д) $0,185 \text{ м}^3/\text{с}$.

8–15. Зовнішній циліндричний насадок діаметром d_n та круглий отвір діаметром d_0 розташовані у вертикальній стінці великого резервуару (рис.8.3).

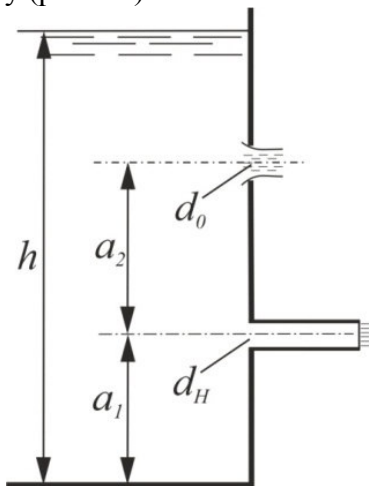


Рис. 8.3. Схема до п. 8–15



1. Витрата рідини з насадка визначається за формулою:

а) $Q_H = \mu_H \cdot \omega_H \sqrt{2gh}$;

б) $Q_H = \mu_H \cdot \omega_H \sqrt{2ga_1}$;

в) $Q_H = \mu_H \cdot \omega_H \sqrt{2g(h-a_1)}$;

г) $Q_H = \mu_H \cdot \omega_H \sqrt{2g(h-a_1-a_2)}$.

2. Якщо $h = 3,0$ м, $a_1 = 0,4$ м, $a_2 = 0,6$ м, $d_H = 0,1$ м, $\mu_H = 0,82$, то витрата рідини з насадка дорівнює:

а) $0,049 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$; в) $0,046 \text{ м}^3/\text{с}$; г) $0,040 \text{ м}^3/\text{с}$.

3. Витрата рідини з отвору визначається за формулою:

а) $Q_o = \mu_o \cdot \omega_o \sqrt{2gh}$;

б) $Q_o = \mu_o \cdot \omega_o \sqrt{2ga_1}$;

в) $Q_o = \mu_o \cdot \omega_o \sqrt{2g(h-a_1)}$;

г) $Q_o = \mu_o \cdot \omega_o \sqrt{2g(h-a_1-a_2)}$.

4. Діаметр отвору d_o за умови рівності витрат з отвору і насадка повинен бути таким:

а) $0,111$ м; б) $0,123$ м; в) $0,232$ м; г) $0,301$ м.

8–16. З відкритого резервуара через малий отвір діаметром d , розташованому на відстані a_1 від дна, вода витікає в атмосферу (рис. 8.4).

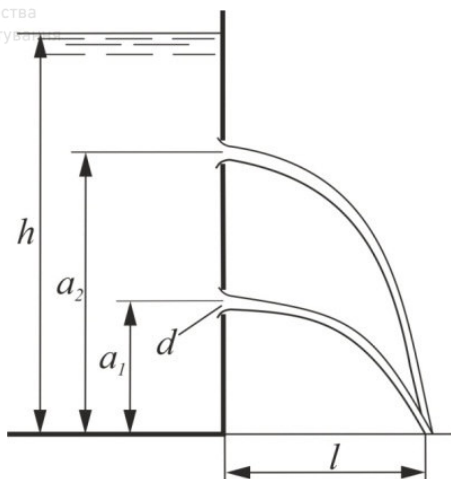


Рис. 8.4. Схема до п. 8–16

1. Витрата води визначиться за формулою:

а) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gh}$;

б) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2ga_1}$;

в) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g(h - a_1)}$;

г) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2g(h + a_1)}$.

2. Якщо $h = 2,0$ м, $a_1 = 0,5$ м, $\mu = 0,62$, $d_o = 0,02$ м, то витрата рідини з отвору дорівнює:

а) 1,2 л/с; б) 0,61 л/с; в) 1,06 л/с; г) 1,36 л/с.

3. Дальність падіння струмину l при витіканні води з отвору можна визначити з виразу:

а) $l = 2\varphi\sqrt{h \cdot a_1}$;

б) $l = 2\varphi\sqrt{(h - a_1)a_1}$;

в) $l = 2\varphi\sqrt{(h + a_1)a_1}$;

г) $l = 2\varphi\sqrt{(h - a_1)h}$.



4. Значення дальності падіння струмини l є таким:

- а) 1,94 м; б) 1,69 м; в) 1,84 м; г) 2,17 м.

5. Висота від дна резервуару a_2 , на якій треба просвердлити ще один отвір, щоб дальність падіння струмини також дорівнювала l , визначиться з виразу:

а) $l = 2\varphi\sqrt{h \cdot a_2}$; б) $l = 2\varphi\sqrt{(h - a_2)a_2}$;

в) $l = 2\varphi\sqrt{(h - a_2 - a_1)a_2}$; г) $l = 2\varphi\sqrt{(h - a_1)a_2}$.

6. Значення a_2 є таким:

- а) 1,0 м; б) 1,36 м; в) 1,49 м; г) 1,81 м.

8–17. З відкритого резервуару через малий отвір діаметром d , розташованому на відстані a від дна, вода витікає в атмосферу під напором H (рис. 8.5).

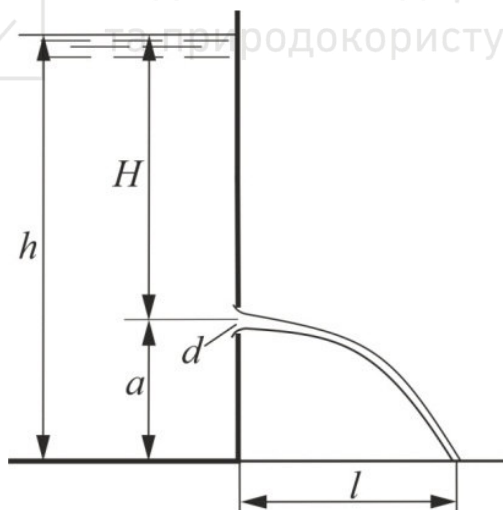


Рис. 8.5. Схема до п. 8–17

1. При яких значеннях H та a довжина відльоту струмини l ($\varphi = 0,97$) буде дорівнювати 2,6 м:



- а) $H = 1,8$ м, $a = 1,0$ м; б) $H = 1,5$ м, $a = 0,7$ м;
в) $H = 1,3$ м, $a = 0,9$ м; г) $H = 2,0$ м, $a = 1,2$ м.

2. Відстань від дна резервуару до отвору a при глибині води $h = 2,0$ м і дальності відльоту струмینی $l = 1,2$ м може бути такою:

- а) 0,215 м; б) 0,419 м; в) 0,634 м; г) 1,09 м; д) 1,57 м.

8–18. За якою формулою визначиться витрата рідини з малого отвору при сталому витіканні під рівень для схеми, зображеної на рис. 8.6:

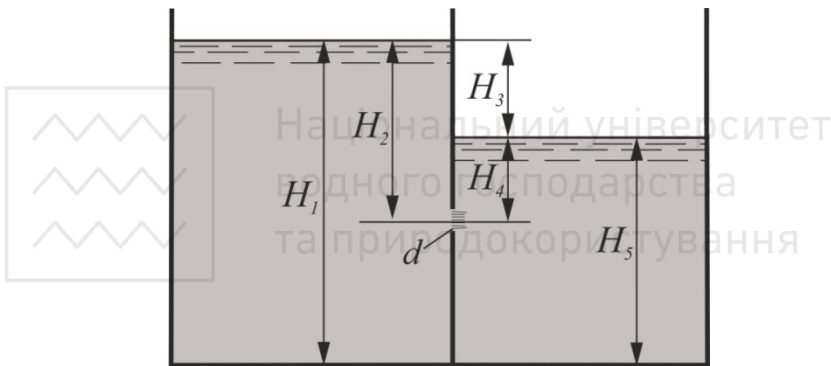


Рис. 8.6. Схема до п. 8–18

- а) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_1}$; б) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_2}$;
в) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_3}$; г) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_4}$;
д) $Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH_5}$.

8–19. До малого отвору діаметром $d = 6$ см приєднаний патрубок довжиною l . При якій довжині патрубку він є насадком:

- а) $l = 5$ см; б) $l = 10$ см; в) $l = 15$ см; г) $l = 20$ см.



8–20. Яким повинен бути діаметр малого отвору d , щоб патрубок довжиною $l = 30$ см, приєднаний до отвору, працював як насадок:

- а) $d = 8$ см; б) $d = 4$ см; в) $d = 2$ см; г) $d = 15$ см.

8–21. Яке співвідношення між витратами води, що витікає з отвору Q_o і з циліндричного насадка Q_n при однакових площах отвору і насадка і однаковому напорі, є правильним:

- а) $Q_o > Q_n$; б) $Q_o = Q_n$; в) $Q_o < Q_n$.

8–22. Яким буде манометричний тиск p_m в циліндричному насадку при витіканні води з нього в атмосферу:

- а) $p_m > 0$; б) $p_m = 0$; в) $p_m < 0$.

8–23. Яке значення абсолютного тиску у стисненому перерізі циліндричного насадка, що працює повним перерізом на виході, є можливим:

- а) 117,72 кПа; б) 98,1 кПа; в) 70,0 кПа; г) 127,53 кПа.

8–24. Насадки з різними значеннями коефіцієнта витрати μ і площі вихідного отвору насадка ω .

1. При яких значеннях μ і ω насадок пропустить найбільшу витрату при однаковому напорі H :

- а) $\mu = 0,95$, $\omega = 7,06$ см²; б) $\mu = 0,71$, $\omega = 12,56$ см²;
в) $\mu = 0,82$, $\omega = 19,62$ см²; г) $\mu = 0,47$, $\omega = 28,26$ см²;
д) $\mu = 0,97$, $\omega = 15,90$ см².

1. Яким буде значення найбільшої витрати при геометричному напорі $H = 2,0$ м:

- а) 4,20 л/с; б) 5,58 л/с; в) 9,67 л/с; г) 10,08 л/с; д) 11,81 л/с.



8–25. З резервуара А вода через отвір поступає при постійному напорі в резервуар В, а з нього через внутрішній циліндричний насадок в атмосферу (рис. 8.7).

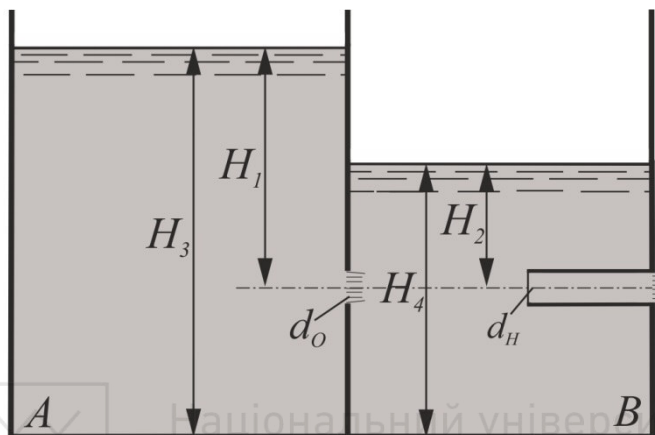


Рис. 8.7. Схема до п. 8–25

1. Оскільки $Q_n = Q_o$, то при однакових діаметрах отвору і насадка напір над центром насадка H_2 може бути визначений з виразу:

а) $H_2 = \frac{\mu_o^2}{\mu_o^2 + \mu_H^2} \cdot H_1;$

б) $H_2 = \frac{\mu_o^2}{\mu_o^2 + \mu_H^2} \cdot H_3;$

в) $H_2 = \frac{\mu_o^2}{\mu_o^2 + \mu_H^2} \cdot (H_3 - H_1);$

г) $H_2 = \frac{\mu_H^2}{\mu_o^2 + \mu_H^2} \cdot H_1;$

д) $H_2 = \frac{\mu_o^2}{\mu_o^2 + \mu_H^2} \cdot (H_3 - H_4).$

2. Якщо $H_1 = 1,0$ м, $H_3 = 1,4$ м, $H_4 = 0,83$ м, $\mu_o = 0,62$, $\mu_H = 0,71$, то значення H_2 буде таким:

а) 0,60 м; б) 0,57 м; в) 0,43 м; г) 0,34 м; д) 0,17 м.



3. Якщо $d_o = d_H = 3$ см, то витрати з отвору і насадка будуть дорівнювати:

- а) 0,92 л/с; б) 1,46 л/с; в) 1,72 л/с; г) 1,68 л/с.

8–26. Вода витікає із закритого резервуара в атмосферу через отвір і зовнішній циліндричний насадок діаметрами $d_o = d_H$, напорі H , при різниці витрат з насадка і отвору ΔQ (рис. 8.8).

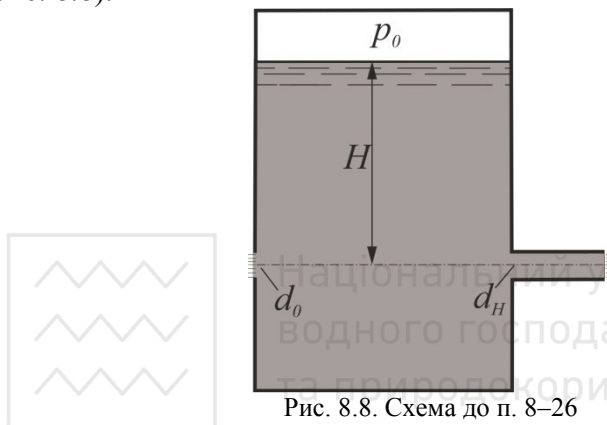


Рис. 8.8. Схема до п. 8–26

1. Манометричний тиск p_0 на поверхні води у резервуарі можна визначити з виразу:

а) $\left(\frac{\Delta Q^2}{\omega^2 (\mu_H + \mu_o)^2 \cdot 2g} - H \right) \cdot \rho g$;

б) $\left(\frac{\Delta Q^2}{\omega^2 (\mu_H + \mu_o)^2 \cdot 2g} + H \right) \cdot \rho g$;

в) $\left(\frac{\Delta Q^2}{\omega^2 (\mu_H - \mu_o)^2 \cdot 2g} - H \right) \cdot \rho g$;

г) $\left(\frac{\Delta Q^2}{\omega^2 (\mu_H - \mu_o)^2 \cdot 2g} + H \right) \cdot \rho g$.



2. Якщо $d_o = d_H = 3$ см, $H = 1,0$ м, $\Delta Q = 1,0$ л/с, то значення тиску p_0 буде таким:

- а) 34,85 кПа; б) 15,23 кПа; в) 12,36 кПа; г) 9,81 кПа.

3. Витрата води з насадка, якщо коефіцієнт витрати насадка $\mu_n = 0,82$, дорівнює:

- а) 4,1 л/с; б) 2,2 л/с; в) 3,3 л/с; г) 5,1 л/с.

4. Витрата води з отвору, якщо коефіцієнт витрати отвору $\mu_o = 0,62$, буде такою:

- а) 3,1 л/с; б) 1,2 л/с; в) 2,3 л/с; г) 4,1 л/с.

5. Різниця витрат води з насадка і отвору при збільшенні манометричного тиску на поверхні рідини у резервуарі на 20 кПа становить:

- а) 1,05 л/с; б) 1,18 л/с; в) 1,34 л/с; г) 1,62 л/с.

6. Витрата води з отвору при зміні тиску на поверхні рідини (згідно п. 5) буде такою:

- а) 3,57 л/с; б) 4,16 л/с; в) 4,43 л/с; г) 3,92 л/с.

7. Витрата води з насадка при зміні тиску на поверхні рідини (згідно п. 5) буде такою:

- а) 4,62 л/с; б) 5,10 л/с; в) 5,50 л/с; г) 6,05 л/с.

8. За умовами п. 2 яким повинен бути тиск p_0 , якщо зовнішній циліндричний насадок замінити внутрішнім циліндричним насадком ($\mu = 0,71$):

- а) 34,85 кПа; б) 63,18 кПа; в) 104,36 кПа; г) 113,86 кПа.

Відповіді до розділу 8:

8–14.2. $0,134 \text{ м}^3/\text{с}$; **8–15.4.** $0,123 \text{ м}$; **8–24.2.** $10,08 \text{ л/с}$;

8–25.2 $0,43 \text{ м}$; **8–26.4.** $3,1 \text{ л/с}$; **8–26.5.** $1,34 \text{ л/с}$.



Розділ 9. Витікання рідини через отвори і насадки при неусталеному русі

Неусталеним є такий рух рідини, при якому швидкість u і гідродинамічний тиск p в кожній точці простору, зайнятого рідиною, залежать від координат точки і від часу, впродовж якого розглядається рух.

Витікання рідини з отворів і насадків при змінному напорі

В даних випадках розв'язують задачі визначення часу зниження або підвищення рівня рідини у резервуарі, часу його спорожнення або наповнення, часу вирівнювання рівнів у резервуарах тощо.

Розглядаємо витікання рідини з резервуарів, які мають сталу площу поперечного перерізу $\Omega = const$ (площа поверхні води в резервуарі є однаковою при різних глибинах).

Витікання відбувається через отвір (насадок, короткий трубопровід) площею ω і коефіцієнтом витрати μ . Початковий напір – H_1 , кінцевий – H_2

Витікання рідини при змінному напорі з одночасним надходженням сталого припливу Q_0

Час t зміни рівня води в резервуарі від H_1 до H_2 визначається за формулою

$$t = \frac{2 \cdot \Omega}{\mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} + \sqrt{H_0} \ln \frac{\sqrt{H_0} - \sqrt{H_1}}{\sqrt{H_0} - \sqrt{H_2}})$$

де H_0 – напір, який відповідає усталеному руху, коли витрата з отвору Q дорівнює припливу Q_0



Витікання рідини при змінному напорі при відсутності припливу ($Q_0 = 0$).

Час зміни рівня води в резервуарі від H_1 до H_2 визначається за формулою

$$t = \frac{2\Omega}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}).$$

При визначенні часу спорожнення резервуару $H_2 = 0$.

Витікання рідини при змінному напорі під змінний рівень

Резервуари мають площі поперечного перерізу Ω_1 і Ω_2 . Час, впродовж якого напір змінюється від H_1 до H_2 , визначається за формулою

$$t = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}).$$

При визначенні часу вирівнювання рівнів $H_2 = 0$.

9–1. З резервуару А площею поперечного перерізу Ω_1 вода може перетікати через малий отвір, площею ω , у резервуар В площею перерізу Ω_2 (рис. 9.1).

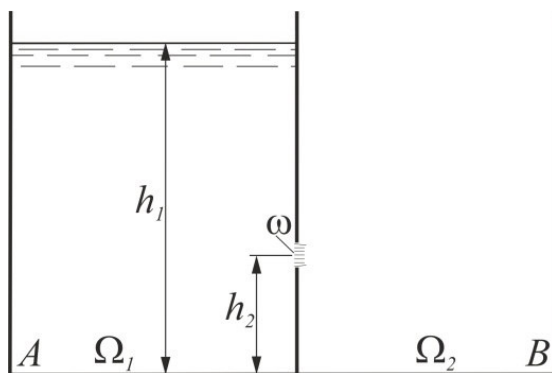


Рис. 9.1. Схема до п. 9–1



1. Глибини води h_3 у резервуарі А (рис. 9.2) при заповненні резервуару В до центра отвору можна знайти з виразу:

а) $h_1 - h_2$; б) $h_1 - \frac{h_2 \cdot \Omega_2}{\Omega_1}$; в) $h_1 - \frac{h_2 \cdot \Omega_1}{\Omega_2}$; г) $h_1 - h_2 - \frac{h_2 \cdot \Omega_2}{\Omega_1}$.

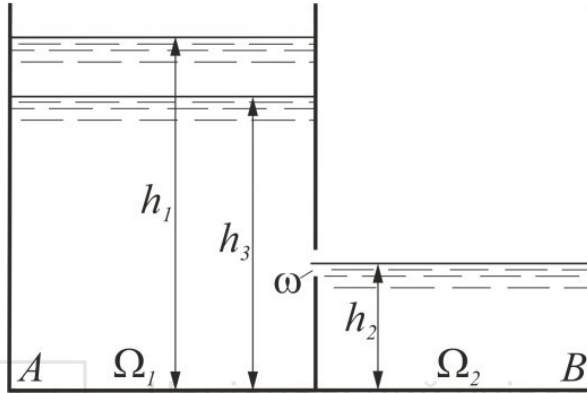


Рис. 9.2. Схема до п. 9-1.1

2. Якщо $\Omega_1 = 4 \text{ м}^2$, $\Omega_2 = 2 \text{ м}^2$, $h_1 = 4,0 \text{ м}$, $h_2 = 0,5 \text{ м}$, значення глибини води h_3 буде таким:

а) 3,5 м; б) 3,75 м; в) 3,0 м; г) 2,75 м.

3. Час t_1 наповнення резервуару В до отвору визначиться за формулою:

а) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1 - h_2} - \sqrt{h_3 - h_2})$;

б) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$;

в) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1 - h_2} - \sqrt{h_2})$;

г) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1} - \sqrt{h_3})$.



4. При коефіцієнті витрати отвору $\mu = 0,62$ та площі отвору $\omega = 0,004 \text{ м}^2$ час t_I буде таким:

- а) 51 с; б) 941 с; в) 898 с; г) 44 с.

5. При перетіканні з резервуару А у резервуар В загального об'єму води 3 м^3 під змінний рівень перетече об'єм W_1 :

- а) $2,5 \text{ м}^3$; б) $2,0 \text{ м}^3$; в) $1,5 \text{ м}^3$; г) $1,0 \text{ м}^3$.

6. Глибину води h_4 (рис. 9.3) у резервуарі А після витікання об'єму W_1 можна знайти з виразу:

- а) $h_1 - \frac{W_1}{\Omega_1}$; б) $h_2 + \frac{W_1}{\Omega_1}$; в) $\frac{h_1 + h_2}{2}$; г) $h_3 - \frac{W_1}{\Omega_1}$.



Рис. 9.3. Схема до п. 9–1.6

7. Глибина води h_4 буде такою:

- а) 3,25 м; б) 3,5 м; в) 3,0 м; г) 2,25 м.



8. Глибину води h_5 у резервуарі В після втікання об'єму W_1 можна знайти з виразу:

$$\text{а) } h_2 - \frac{W_1}{\Omega_1} ; \quad \text{б) } h_2 + \frac{W_1}{\Omega_2} ; \quad \text{в) } \frac{h_4 + h_2}{2} ; \quad \text{г) } h_3 - \frac{W_1}{\Omega_2} .$$

9. Значення h_5 буде таким:

$$\text{а) } 2,75 \text{ м}; \quad \text{б) } 2,0 \text{ м}; \quad \text{в) } 1,5 \text{ м}; \quad \text{г) } 1,0 \text{ м}.$$

10. Час t_2 перетікання об'єму води W_1 у резервуар В під рівень визначиться за формулою:

$$\text{а) } t_2 = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_4 - h_2} - \sqrt{h_5 - h_2}) ;$$

$$\text{б) } t_2 = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_4} - \sqrt{h_2}) ;$$

$$\text{в) } t_2 = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_4 - h_2} - \sqrt{h_2}) ;$$

$$\text{г) } t_2 = \frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_3} - \sqrt{h_2}) .$$

11. Час t_2 перетікання об'єму води W_1 у резервуар В буде таким:

$$\text{а) } 299 \text{ с}; \quad \text{б) } 109 \text{ с}; \quad \text{в) } 135 \text{ с}; \quad \text{г) } 160 \text{ с}.$$



12. Загальний час витікання об'єму води 3 м^3 з отвору у резервуар В:

- а) 374 с; б) 350 с; в) 211 с; г) 275 с.

13. Час вирівнювання рівнів у резервуарах $t_{\text{вир}}$ визначиться з виразу:

а) $\frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{h_4} - \sqrt{h_2})$;

б) $\frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})$;

в) $\frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{h_3} - \sqrt{h_5})$;

г) $\frac{2\Omega_1\Omega_2}{(\Omega_1 + \Omega_2)\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_4}$.

14. Час вирівнювання рівнів у резервуарах є таким:

- а) 437 с; б) 402 с; в) 454 с; г) 502 с.

15. Глибина води у резервуарах після вирівнювання рівнів:

- а) 2,04 м; б) 2,67 м; в) 2,84 м; г) 3,06 м.

9–2. Площі поперечного перерізу верхньої та нижньої частин резервуару, відповідно, Ω_1 та Ω_2 , площа отвору у дні резервуару, через який витікає вода – ω . Глибини наповнення частин резервуару h_1 та h_2 (рис. 9.4).

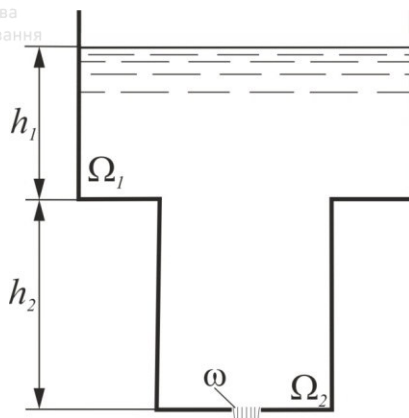


Рис. 9.4. Схема до п. 9–2

1. Час t_1 спорожнення верхньої частини резервуару визначається з виразу:

а) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_1}$;

б) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_2}$;

в) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{h_1 + h_2} - \sqrt{h_2})$;

г) $t_1 = \frac{2\Omega_1}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_1 + h_2}$.

2. Якщо $\Omega_1 = 2,0 \text{ м}^2$, $\Omega_2 = 1,0 \text{ м}^2$, $\omega = 0,010 \text{ м}^2$, коефіцієнт витрати отвору $\mu = 0,62$, $h_1 = 1,0 \text{ м}$, $h_2 = 1,4 \text{ м}$, то час t_1 дорівнює:

- а) 225 с; б) 172 с; в) 146 с; г) 53 с.



3. Час t_2 спорожнення нижньої частини резервуару визначається з виразу:

а) $t_2 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_2}$;

б) $t_2 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_1 + h_2}$;

в) $t_2 = \frac{2(\Omega_1 + \Omega_2)}{\mu\omega\sqrt{2g}}\sqrt{h_2}$;

г) $t_2 = \frac{2(\Omega_1 - \Omega_2)}{\mu\omega\sqrt{2g}}(\sqrt{h_1 + h_2} - \sqrt{h_2})$.

4. Час t_2 спорожнення нижньої частини резервуару (при даних п. 2) є таким:

- а) 27 с; б) 113 с; в) 86 с; г) 258 с.

5. Час t спорожнення всього резервуару:

- а) 252 с; б) 139 с; в) 430 с; г) 311 с.

6. При витіканні з резервуару $3/4$ загального об'єму води з нижньої частини витече об'єм W_1 :

- а) $0,55 \text{ м}^3$; б) $0,84 \text{ м}^3$; в) $1,22 \text{ м}^3$; г) $1,34 \text{ м}^3$.

7. Об'єму W_1 відповідає глибина h_3 (рис. 9.5):

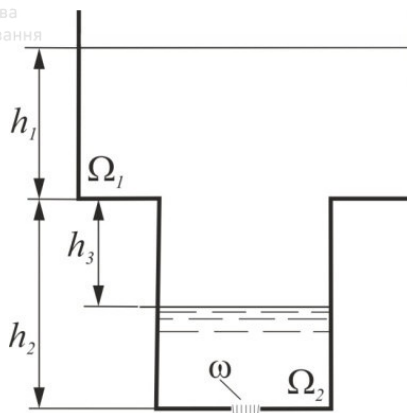


Рис. 9.5. Схема до п. 9–2.7

- а) 0,55 м; б) 0,84 м; в) 1,22 м; г) 1,34 м.

8. Час t_3 витікання з резервуару об'єму W_1 визначиться з виразу:

$$\text{а) } t_3 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_2} - \sqrt{h_2 - h_3}) ;$$

$$\text{б) } t_3 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}} \sqrt{h_2 - h_3} ;$$

$$\text{в) } t_3 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}} (\sqrt{h_1 + h_2} - \sqrt{h_2 - h_3}) ;$$

$$\text{г) } t_3 = \frac{2\Omega_2}{\mu\omega\sqrt{2g}} \sqrt{h_3} .$$

9. Час t_3 витікання з резервуару об'єму W_1 буде таким:

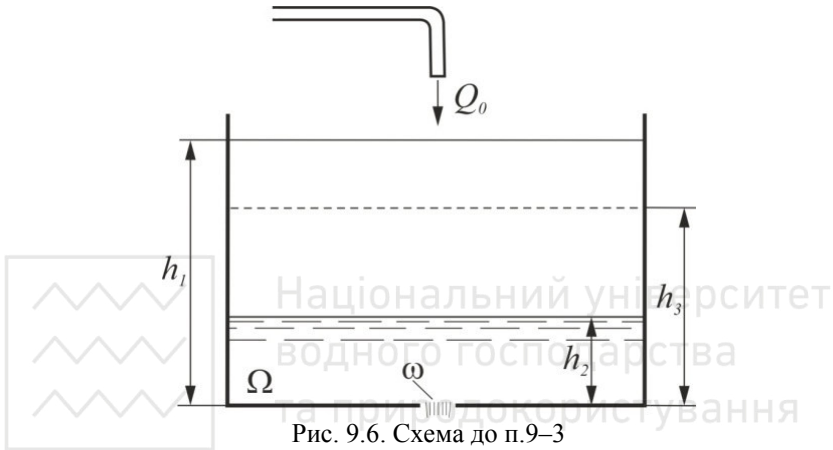
- а) 54 с; б) 67 с; в) 19 с; г) 46 с.



10. Час t витікання з резервуару $3/4$ об'єму води:

- а) 244 с; б) 192 с; в) 239 с; г) 72 с.

9–3. З резервуара, площею поперечного перерізу Ω , через отвір у дні, площею ω , витікає вода. Постійна притока води у резервуар Q_0 (рис. 9.6).



1. Якщо через час t після відкриття отвору глибина води у резервуарі h_2 , то глибина води h_1 до відкриття отвору (при $Q_0 = 0$) визначиться за виразом:

- а) $\frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} + \sqrt{h_2}$;
б) $\left(\frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} + \sqrt{h_2} \right)^2$;
в) $\frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} + h_2$;
г) $\left(\frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} - \sqrt{h_2} \right)^2$.



2. Якщо $\Omega = 1,0 \text{ м}^2$, $\omega = 0,004 \text{ м}^2$, $\mu = 0,62$, $h_2 = 0,6 \text{ м}$, $t = 200 \text{ с}$, при відсутності постійної притоки Q_0 , значення h_1 буде таким:

- а) 4,0 м; б) 3,56 м; в) 1,89 м; г) 1,7 м.

3. Через час 100 с після відкриття отвору глибина води у резервуарі h_3 визначиться з виразу:

а) $\left(\sqrt{h_1} - \frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} \right)^2$;

б) $h_1 - \left(\frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega} \right)^2$;

в) $\sqrt{h_1} - \frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega}$;

г) $h_1 - \frac{t\mu\omega\sqrt{2g}}{2\Omega}$.

4. Значення h_3 є таким:

- а) 1,34 м; б) 3,25 м; в) 1,78 м; г) 1,40 м.

5. Об'єм води, який витік з резервуару за перші 100 с, дорівнює:

- а) 2,66 м³; б) 2,22 м³; в) 2,16 м³; г) 1,78 м³.

6. Час спорожнення резервуару:

- а) 237 с; б) 364 с; в) 250 с; г) 343 с.

7. Витрата води з резервуару в момент відкриття отвору:

- а) 20,8 л/с; б) 15,10 л/с; в) 22,0 л/с; г) 14,3 л/с.



8. Якщо постійна притока води у резервуар $Q_0 = 10$ л/с, то глибина H_0 у резервуарі, яка відповідає усталеному руху ($Q_0 = Q_{отвору}$), буде такою:

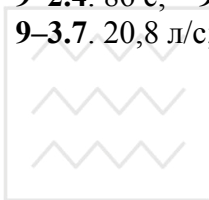
- а) 0,74 м; б) 0,83 м; в) 0,92 м; г) 1,04 м.

9. Усталений рух води почнеться через такий час t_0 з початку її витікання з отвору (прийняти $H_2 = H_0 + 0,01$ м):

- а) 837 с; б) 1036 с; в) 1250 с; г) 1303 с.

Відповіді до розділу 9:

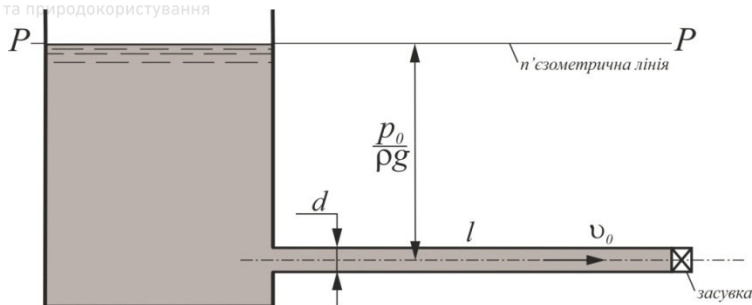
9–1.4. 51 с; 9–1.7. 3,25 м; 9–1.11. 160 с; 9–1.15. 2,67 м;
9–2.4. 86 с; 9–2.7. 0,55 м; 9–2.10. 72 с; 9–3.4. 1,78 м;
9–3.7. 20,8 л/с; 9–3.9. 1036 с.



Розділ 10. Гідравлічний удар

Гідравлічним ударом називають підвищення або зниження тиску в напірному трубопроводі внаслідок зміни у часі швидкості руху рідини. Враховується стисливість рідини та пружність стінок трубопроводу.

Розглянемо гідравлічну систему, що складається з трубопроводу, який приєднаний до резервуару великих розмірів. Діаметр трубопроводу – d , довжина – l , товщина стінок труби – δ , модулі пружності рідини і матеріалу стінок труби, відповідно, – E_0 і E , швидкість руху рідини густиною ρ при усталеному русі в трубопроводі – U_0 , початковий тиск (до удару) – p_0 . В кінці трубопроводу є засувка.



При миттєвому закритті засувки зупиниться найближчий до засувки шар рідини. Під впливом потоку, що набігає, маса рідини в об'ємі цього шару стиснеться, тиск збільшиться на величину Δp . Хвиля підвищеного тиску, що виникає, рухається до резервуару із швидкістю c – швидкістю розповсюдження ударної хвилі, і досягне його через час $t = l/c$. Рідина у трубопроводі зупиниться, тиск у ньому – $p_0 + \Delta p$, стінки труби розширені – $d + \Delta d$.

Під дією перепаду тиску рідина почне рухатись з труби у резервуар, а ударна хвиля – до засувки, залишаючи за собою в трубі вирівняний тиск p_0 , яку досягне через час $t = \frac{2l}{c}$ (фаза удару) після її закриття.

Частина рідини переллється в резервуар, у трубопроводі станеться розрідження, стінки трубопроводу звужаться (через час $t = \frac{3l}{c}$).

І даний стан не є рівноваговим. Під дією перепаду тиску рідина з резервуару рухається знову в трубу. Якщо в момент $t = \frac{4l}{c}$ (період коливань удару) миттєво відкрити засувку, то явище удару припиниться.



У випадку миттєвого повного закриття засувки величину удару (збільшення тиску) Δp можна визначити з формули $\Delta p = \rho \cdot v_0 c$, де швидкість розповсюдження ударної хвилі

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 \cdot d}{E \cdot \delta}}}. \quad \text{При поступовому закритті засувки тиск у}$$

трубопроводі збільшується пропорційно зменшенню швидкості руху рідини.

Якщо час повного закриття засувки T_3 буде менший фази удару $\tau_0 (T_3 \leq \tau_0)$, то гідравлічний удар називають *прямим*. У цьому випадку максимальне підвищення тиску визначається з формули $\Delta p = \rho \cdot v_0 \cdot c$.

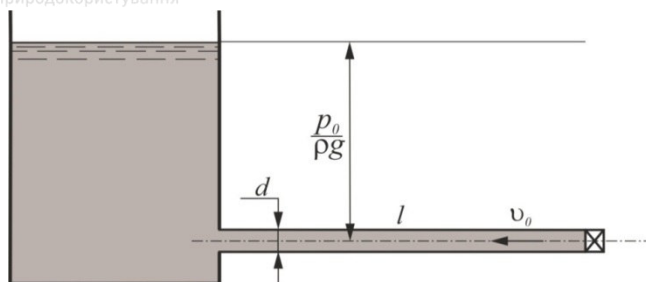
Якщо $T_3 > \tau_0$, то гідравлічний удар є *непрямим*. Підвищення тиску у даному випадку менше, ніж при прямому ударі. Найбільше підвищення тиску $\Delta p'$ при лінійній зміні швидкості буде в кінці першої фази удару ($t = \tau_0 = 2l/c$) і дорівнює $\Delta p' = 2\rho \cdot l \cdot v_0 / T_3$.

10–1. У трубопроводі довжиною l після миттєвого закриття засувки відбувся гідравлічний удар. У якому варіанті (а, б, в, г) рис. 10.1 показана гідравлічна система через час:

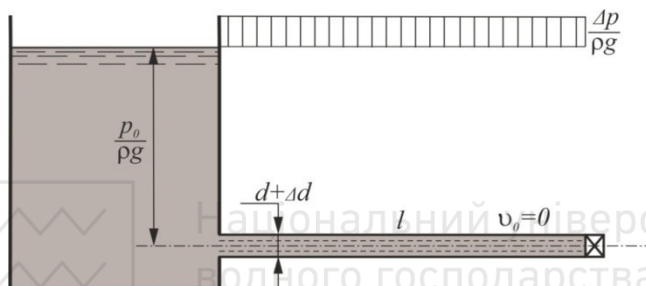
$$1. \ t = l/c; \quad 2. \ t = \frac{2l}{c}; \quad 3. \ t = \frac{3l}{c}; \quad 4. \ t = \frac{4l}{c}.$$



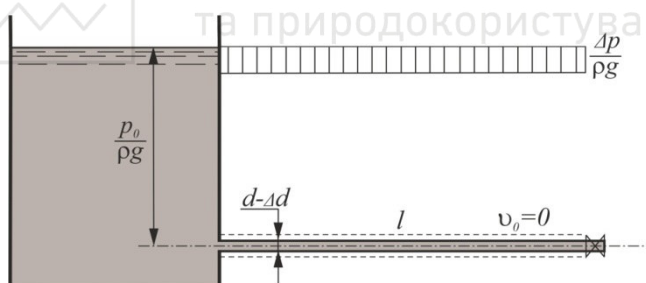
а)



б)



в)



г)

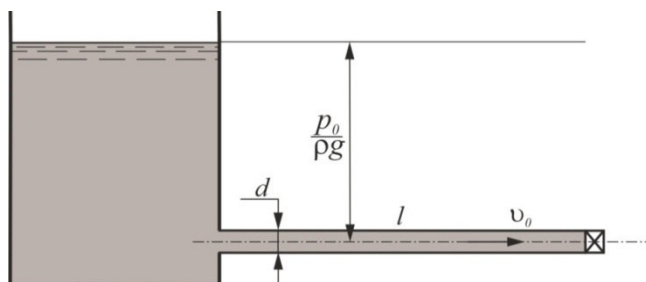


Рис. 10.1.Схеми до п. 10-1



10–2. Який час є періодом коливань маси рідини при гідравлічному ударі у трубопроводі довжиною $l = 2000$ м при швидкості розповсюдження ударної хвилі $c = 1234$ м/с:

- а) 8,1 с; б) 6,48 с; в) 3,24 с; г) 1,62 с.

10–3. Який час є фазою гідравлічного удару у трубопроводі довжиною $l = 1000$ м при швидкості розповсюдження ударної хвилі $c = 1062$ м/с:

- а) 1,25 с; б) 1,88 с; в) 2,82 с; г) 3,77 с.

10–4. У сталевому трубопроводі, довжиною $l=1000$ м, діаметром $d=200$ мм, товщиною стінок $\delta = 5$ мм, рухається вода із швидкістю $v_0 = 1,2$ м/с.

1. Якою є швидкість розповсюдження ударної хвилі c при гідравлічному ударі:

- а) 1204 м/с; б) 1806 м/с; в) 2408 м/с; г) 3612 м/с.

2. Яким є підвищення тиску (величина удару) Δp при прямому ударі:

- а) 2167,2 кПа; б) 2889,6 кПа; в) 4334,4 кПа; г) 1444,8 кПа.

10–5. У якій рідині: вода ($\rho = 1000$ кг/м³, $E_0=2,03 \cdot 10^9$ Па), нафта ($\rho = 900$ кг/м³, $E_0 = 1,35 \cdot 10^9$ Па), дизельне пальне ($\rho = 850$ кг/м³, $E_0 = 1,66 \cdot 10^9$ Па), газ ($\rho = 820$ кг/м³, $E_0 = 1,69 \cdot 10^9$ Па) швидкість розповсюдження ударної хвилі c у сталевій трубі ($E = 2,03 \cdot 10^{11}$ Па) при однаковому співвідношенні d/δ буде:

1. найбільшою:

2. найменшою:

- а) вода; б) нафта; в) дизельне пальне; г) газ.

10–6. Яким буде значення швидкості розповсюдження ударної хвилі c у сталевій трубі при співвідношенні $d/\delta = 20$, якщо рідина у трубопроводі:



1. вода:

2. нафта:

3. дизельне паливо:

4. газ:

а) 1329 м/с; б) 1295 м/с; в) 1151 м/с; г) 1301 м/с.

10–7. Швидкість руху рідини у трубопроводі $v_0 = 1$ м/с. Якою буде величина підвищення тиску Δp при прямому гідравлічному ударі, якщо рідина у сталевому трубопроводі:

1. вода:

2. нафта:

3. дизельне паливо:

4. газ:

а) 1035,9 кПа; б) 1100,8 кПа; в) 1089,8 кПа; г) 1301 кПа.

10–8. У сталевих ($E = 2,03 \cdot 10^8$ кПа), азбестоцементних ($E = 18,45 \cdot 10^6$ кПа), чавунних ($E = 1,01 \cdot 10^8$ кПа), скляних ($E = 3,12 \cdot 10^6$ кПа), пластмасових ($E = 1,62 \cdot 10^6$ кПа) трубах, які мають співвідношення $d/\delta = 20$, протікає вода із середньою швидкістю $v_0 = 1$ м/с.

1. У яких трубах при прямому гідравлічному ударі підвищення тиску Δp буде:

1. найбільшим:

2. найменшим:

а) сталеві; б) чавунні; в) азбестоцементні; г) скляні;
д) пластмасові.

2. Якою буде величина підвищення тиску Δp , якщо матеріал труб буде:

1. сталь:

2. скло:

3. пластмаса:



4. азбестоцемент:

5. чавун:

- а) 1301 кПа; б) 1208 кПа; в) 796 кПа;
г) 381 кПа; д) 279,4 кПа.

10–9. У сталених водопровідних трубах різних діаметрів відбувся прямий гідравлічний удар.

1. При якому діаметрі труби за однаковими іншими умовами величина підвищення тиску Δp буде:

1. найбільшою;
2. найменшою:

а) 250 мм; б) 200 мм; в) 150 мм; г) 100 мм; д) 50 мм.

2. Якою буде величина підвищення тиску Δp при товщині стінок трубопроводу $\delta = 2,5$ мм та швидкості руху води $v_0 = 1$ м/с у трубах діаметром:

1. 250 мм;
2. 150 мм;
3. 50 мм:

а) 822 кПа; б) 1007 кПа; в) 1126 кПа; г) 1301 кПа.

10–10. Товщина стінок сталених водопровідних труб δ є різною.

1. При якому значенні δ , за іншими однаковими умовами, величина підвищення тиску Δp , що виникло при прямому гідравлічному ударі, буде:

1. найбільшим;
2. найменшим:

а) $\delta = 3,0$ мм; б) $\delta = 3,5$ мм; в) $\delta = 4,0$ мм;
г) 4,5 мм; д) 5,0 мм.



2. Якою буде величина підвищення тиску Δp у трубопроводі з $d=200$ мм при швидкості руху води $v_0 = 1$ м/с при товщині стінок трубопроводу:

1. $\delta = 3,0$ мм;
2. $\delta = 4,0$ мм;
3. $\delta = 5,0$ мм;

а) 1233 кПа; б) 1204 кПа; в) 1162 кПа; д) 1104 кПа.

10–11. З якою швидкістю повинна рухатись вода у сталевому трубопроводі з $d/\delta = 20$, при якій у випадку прямого гідравлічного удару підвищення тиску $\Delta p = 1821,4$ кПа:

- а) $v_0 = 1$ м/с; б) $v_0 = 1,2$ м/с; в) $v_0 = 1,4$ м/с; г) $v_0 = 1,6$ м/с.

10–12. При якій рідині, що рухається у сталевому трубопроводі з $d/\delta = 20$ із швидкістю $v_0 = 1$ м/с, підвищення тиску при прямому гідравлічному ударі $\Delta p = 1101$ кПа (значення ρ, E_0 для рідин наведені у п.10–5):

- а) вода; б) нафта; в) дизельне паливо; г) газ.

10–13. Час закриття засувки в кінці трубопроводу $T_z = 4,0$ с.

1. При яких значеннях довжини трубопроводу l та швидкості розповсюдження ударної хвилі c гідравлічний удар буде прямим:

- а) $l=2000$ м, $c = 822$ м/с; б) $l=1500$ м, $c = 1062$ м/с;
в) $l=1200$ м, $c = 920$ м/с; г) $l = 1000$ м, $c = 637$ м/с.

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

- а) 822 кПа; б) 1062 кПа; в) 920 кПа; г) 637 кПа.



10–14. Час закриття засувки в кінці трубопроводу

$$T_3 = 2,7c.$$

1. При яких значеннях довжини трубопроводу l та швидкості розповсюдження ударної хвилі c гідравлічний удар буде непрямым:

а) $l = 2000$ м, $c = 822$ м/с;

б) $l = 1500$ м, $c = 1062$ м/с;

в) $l = 1200$ м, $c = 920$ м/с;

г) $l = 1000$ м, $c = 637$ м/с.

2. Яким буде максимальне підвищення тиску Δp в кінці першої фази удару при швидкості руху води у трубопроводі $v_0 = 1$ м/с:

а) 1481 кПа; б) 1110 кПа; в) 888 кПа; г) 740 кПа.

10–15. p_0 – тиск у трубопроводі до удару. c – швидкість розповсюдження ударної хвилі. Δp – зміна тиску при ударі. Яким буде тиск в перерізі на початку трубопроводу (біля резервуару) через час:

1. $t = l/c$;

2. $t = 2l/c$;

3. $t = 3l/c$;

4. $t = 4l/c$;

а) p_0 ; б) $p_0 + \Delta p$; в) $p_0 - \Delta p$; г) $p_0 = 0$.



ЛІТЕРАТУРА

1. Андреевская А. В., Кременецкий Н. Н., Панова М. В. Задачник по гидравлике. / А. В. Андреевская, Н. Н. Кременецкий, М. В. Панова. – Москва: Энергия, 1970. – 567 с.
2. Завдання до самостійної роботи студентів з розділів технічної механіки рідини і газу / праці викладачів кафедри гідравліки НУВГП /. – Рівне: Видавництво НУВГП.
3. Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу: підручник / Ю. М. Константинов, О. О. Гіжа. – Київ : Вища шк., 2002. – 273с.
4. Науменко І.І. Технічна механіка рідини і газу: підручник. / І.І.Науменко. – Рівне: Видавництво РДГУ, 2000. – 520с .
5. Примеры расчетов по гидравлике: посібник. / за ред. А. Д. Альтшуля /. – Москва : Стройиздат, 1976. – 237с.
6. Рогалевич Ю. П. Гідравліка: підручник. / Ю.П.Рогалевич. – Київ: Вища школа, 2010. – 430 с.
7. Сборник задач по гидравлике. / за ред. В. А. Большакова /. – Київ : Вища школа, 1979. – 336с.
8. Справочник по гидравлике / В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов и др./. –Київ: Вища школа, 1984. – 340с.
9. Справочник по гидравлическим расчетам. / Под редакцией П. Г.Киселева /. – Москва : Энергия,1972. – 308с.
10. Чугаев Р. Р. Гидравлика: підручник. / Р. Р.Чугаев. – Ленинград: Энергоиздат, 1982. – 672с.
11. Штеренлихт Д. В. Гидравлика: підручник. / Д. В. Штеренлихт. –Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 640с.



З М І С Т

Передмова	3
Поняття рідини. Основні фізичні властивості рідини. Сили, що діють на рідину	4
Розділ 1. Гідростатичний тиск	8
Розділ 2. Сила тиску рідини на плоскі поверхні (стілки)	40
Розділ 3. Сила тиску рідини на криволінійні поверхні	55
Розділ 4. Плавання тіл	92
Розділ 5. Гідродинаміка	105
Розділ 6. Гідравлічні опори і втрати напору	124
Розділ 7. Усталений рух рідини в напірних трубопро- водах	137
Розділ 8. Витікання рідини через отвори і насадки при усталеному русі	156
Розділ 9. Витікання рідини через отвори і насадки при неусталеному русі	172
Розділ 10. Гідравлічний удар	183
Література	192



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Навчальне видання

Луценко В'ячеслав Віссаріонович

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ В ТЕСТАХ І ЗАДАЧАХ



Навчальний посібник

*Технічний редактор
Дизайн обкладинки
Комп'ютерний набір*

*Г.Ф. Сімчук
Т.В. Жаранова
С.В. Луценко*

Підписано до друку 30.03.2015 р. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times. Друк різнографічний.
Ум.-друк. арк. 11,3. Обл.-вид. арк. 11,8.
Тираж 100 прим. Зам. № 4477.

*Видавець і виготовлювач
Редакційно-видавничий відділ
Національного університету
водного господарства та природокористування
33028, Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої про-
дукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*