

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра „ Будівельна механіка і гідравліка ”

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

Програма дисципліни та індивідуальне завдання

Харків - 2012

Програму дисципліни та індивідуальне завдання розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри

«Будівельна механіка і гідравліка» від 12 травня 2011 р.,
протокол № 12.

Рекомендуються для студентів усіх форм навчання
будівельного факультету спеціальності 7.092101 – «Промислове
і цивільне будівництво» спеціалізації «Реконструкція і
утримання будинків на залізничному транспорті».

Укладач

доц. В.А. Борщов

Рецензент

доц. І.М. Єгорова

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

Програма дисципліни та індивідуальне
завдання

Відповідальний за випуск Ляшенко О.Л.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 08.06.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,5. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**Українська державна академія залізничного транспорту
Будівельний факультет
Кафедра «Будівельна механіка і гідравліка»**

ТЕХНІЧНА МЕХАНІКА РІДИНИ І ГАЗУ

Програма дисципліни та індивідуальне завдання

Харків – 2012

Програму дисципліни та індивідуальне завдання розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри «Будівельна механіка і гідравліка» від 12 травня 2011 р., протокол № 12.

Рекомендуються для студентів усіх форм навчання будівельного факультету спеціальності 7.092101 – «Промислове і цивільне будівництво» спеціалізації «Реконструкція і утримування будинків на залізничному транспорті».

Укладач

доц. В.А. Борщов

Рецензент

доц. І.М. Єгорова

ЗМІСТ

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ	4
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	7
ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ	12
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	26
ДОДАТОК А	27

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Вступ. Вступні відомості. Приклади гідромеханічних задач у промисловому і цивільному будівництві. Короткі історичні відомості про розвиток механіки рідини і газу як науки [1, с. 3-6].

Основні фізичні властивості рідин і газів. Предмет механіки рідких середовищ: об'єкт вивчення, гіпотеза суцільності, особливості крапельних рідин і газоподібних рідин (газів). Сили, що діють у рідинах: масові (об'ємні) сили, поверхневі сили. Напруги поверхневих сил: нормальні і дотичні напруги, напружений стан. Основні фізичні властивості: стисливість, температурне розширення, капілярність, пароутворювання в крапельних рідинах, текучість, в'язкість. Неньютонівські рідини. Моделі рідкого середовища [1, с. 6-10; 2, с. 5-20].

Основи кінематики рідин. Два методи опису руху рідин і газів. Прискорення рідкої частинки. Усталений і неусталений рухи рідкого середовища. Поняття про лінії, трубки течії та елементарні струминки. Витрата елементарної струминки та витрата через поверхню. Поняття про потік рідини. Види потоків. Струминна модель одновимірного потоку. Переріз потоку. Витрата рідини через переріз, середня швидкість у перерізі потоку [1, с. 41-44; 2, с. 60-65].

Основні закони динаміки рідин і газів. Рівняння нерозривності (суцільності) у різних формах. Рівняння кількості руху й моменту кількості руху. Рівняння енергії [1, с. 48-57, с. 65-88; 3, с. 33-37, с. 79-116; 4, с. 66-103].

Гідрогазостатика. Абсолютний і відносний спокій рідких середовищ. Рівняння рівноваги рідин у стані спокою. Розподіл тиску в спочиваючій рідині. Поверхні рівного тиску. Визначення сил тиску спочиваючого середовища на плоскі й криволінійні стінки. Відносний спокій [1, с. 11-40; 2, с. 20-59].

Основи теорії гідродинамічної подібності і моделювання руху рідини і газу. Загальні положення. Фізичне й математичне

модельовання руху рідини (газу). Поняття про гідродинамічну подібність. Основні критерії подібності. Автомодельність [1, с. 251-273; 2, с. 124-138].

Одновимірні потоки рідин і газів. Одновимірна модель і приведення до неї плавноміernih потоків. Рівняння витрати. Рівняння Бернуллі для потоку в'язкої нестисливої рідини [1, с. 69-88; 2, с. 60-105; 3, с. 133-138].

Гідравлічні опори. Режими руху рідин. Дослідження Рейнольдса. Гідравлічні опори, їх фізична природа й класифікація. Структура формул для обчислення втрат енергії (напору). Опір по довжині, основна формула втрат. Дані про гідравлічний коефіцієнт втрат напору на тертя по довжині. Ламінарний потік у трубі і приведення його до одновимірної моделі. Турбулентний рух у трубах. Закони розподілу швидкостей і опорів при ламінарному й турбулентному рухах у трубах. Зони опору. Наведення найбільш уживаних формул для гідравлічного коефіцієнта втрат напору на тертя по довжині. Місцеві гідравлічні опори. Залежність коефіцієнта місцевого опору від числа Рейнольдса й геометричних параметрів. Окремі види місцевих опорів: вхід у трубу, раптове розширення, дифузори й ін. Рух рідини в трубах некруглого перерізу [1, с. 89-129; 2, с. 105-207; 5, Кн. 1, с. 119-212].

Гідравлічний розрахунок трубопроводів. Загальні положення. Прості й складні трубопроводи. Гідравлічний розрахунок простих трубопроводів. Складні трубопроводи. Трубопроводи з насосною подачею. Гідравлічний удар у трубах [1, с. 130-167; 2, с. 227-258].

Витікання рідини через отвори й насадки. Витікання нестисливої рідини при постійному напорі через отвори в тонкій стінці. Особливості витікання рідини через насадки різної форми. Витікання нестисливої рідини при змінному напорі [1, с. 130-167; 2, с. 258-275].

Рівномірний рух рідини у відкритих руслах. Класифікація русел. Умови існування рівномірного безнапірного руху.

Особливості руху рідини у відкритих руслах. Основне рівняння рівномірного руху. Залежність коефіцієнта Шезі від відносної шорсткості й числа Рейнольдса. Формули для визначення коефіцієнта Шезі й швидкісної характеристики у квадратичній і неквадратичній областях. Розподіл швидкостей по перерізу відкритого потоку. Основні форми поперечних перерізів каналів. Максимальний гідравлічний радіус. Гідравлічно найвигідніші перерізи. Визначення гідравлічних елементів перерізу в трапецієподібних і параболічних руслах. Основні типи задач розрахунків каналів. Визначення нормальної глибини. Допустимі максимальні й мінімальні швидкості. Особливості гідравлічного розрахунку безнапірних трубопроводів та інших каналів замкнутого перерізу [1, с. 205-222; 5, Кн. 2, с. 22-52].

Рух рідини в пористому середовищі (фільтрація). Основні характеристики фільтрації в ґрунтах. Основний закон фільтрації. Коефіцієнт фільтрації й методи його визначення. Ламінарна та турбулентна фільтрації. Рівномірний і нерівномірний рухи ґрунтових вод. Диференціальне рівняння нерівномірного плавномірного руху ґрунтових вод. Форми кривих депресії. Приплив ґрунтових вод до водозбірних споруджень. Приплив до дренажного й артезіанського колодязів. Розрахунок групи досконалих колодязів при водозниженні. Приплив до одиночної досконалої водозбірної галереї. Основи розрахунку системи горизонтальних досконалих і недосконалих дрен. Фільтрація води через земляні греблі й під гідротехнічними спорудженнями [1, с. 239-250; 5, Кн. 2, с. 256-298].

Обтікання тіл потоком рідини й газу. Поняття про пограничний шар. Відрив пограничного шару й формування відривних рухів. Розподіл тисків і аеродинамічний коефіцієнт. Опір тіл, що їх обтікає потік. Моделювання і розрахунок впливу повітряних потоків на будинки й споруди [2, с. 312-228; 4, с. 318-379].

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Індивідуальне завдання складається з п'яти задач та для денної форми навчання являє собою зміст розрахунково-графічної роботи, для заочної – зміст контрольної роботи.

Чисельні значення вихідних даних слід вибирати з таблиці до кожної задачі в залежності від шифру, який надається деканатом або вказується викладачем.

Задача 1. Трубопровід довжиною l і діаметром d підготовлений до гідравлічних випробувань на герметичність і заповнений водою при атмосферному тиску. Визначити об'єм води, який потрібно додатково подати у трубопровід, якщо підвищити надлишковий тиск у ньому до P . Коефіцієнт об'ємного стиснення води $\beta_p = 0,0005$ 1/МПа. Деформаціями труб знехтувати.

Вихідні дані за варіантом подані в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$l, м$	1200	1150	1100	1050	1000	950	1000	1050	1100	1200
$d, мм$	250	200	250	300	350	400	500	500	400	350
$p, МПа$	5,0	6,0	7,0	7,5	5,0	8,0	6,5	5,5	7,0	5,5

Задача 2. Водозливна стінка ламаного профілю (рисунок 1) має висоту H і ширину b . Висота вертикальної частини h . Кут $\alpha = 30^\circ$.

Визначити сили гідростатичного тиску на вертикальну й похилу частини стінки та точки їх прикладення і побудувати епюри гідростатичного тиску. Густина води $\rho = 1000$ кг/м³.

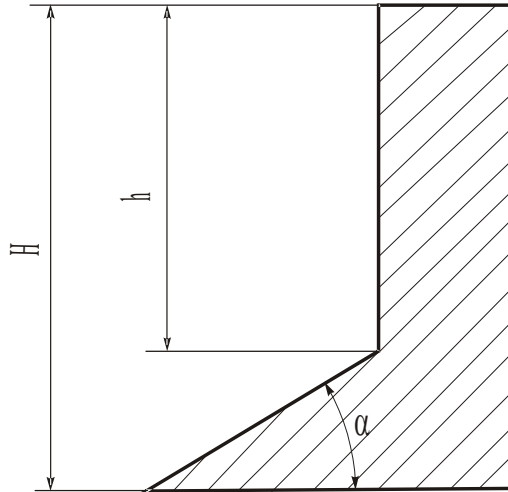


Рисунок 1

Вихідні дані за варіантом подані в таблиці 2.

Таблиця 2

Вихідні дані	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, м$	4,0	4,0	5,0	4,5	4,0	4,5	4,0	4,5	4,0	5,0
$h, м$	2,0	2,4	3,0	2,8	2,7	2,2	2,6	1,8	1,6	2,5
$b, м$	3,8	3,0	3,2	3,4	3,5	3,8	3,0	3,2	3,4	3,6

Задача 3. Вода перетікає з резервуара в резервуар (рисунок 2) по системі трубопроводів діаметрами d_1 і d_2 та довжинами відповідно l_1 і l_2 . Еквівалентна шорсткість труб k_e . Витрата води Q . Температура води t .

Визначити напір води H й побудувати лінію повного напору та п'єзометричну лінію.

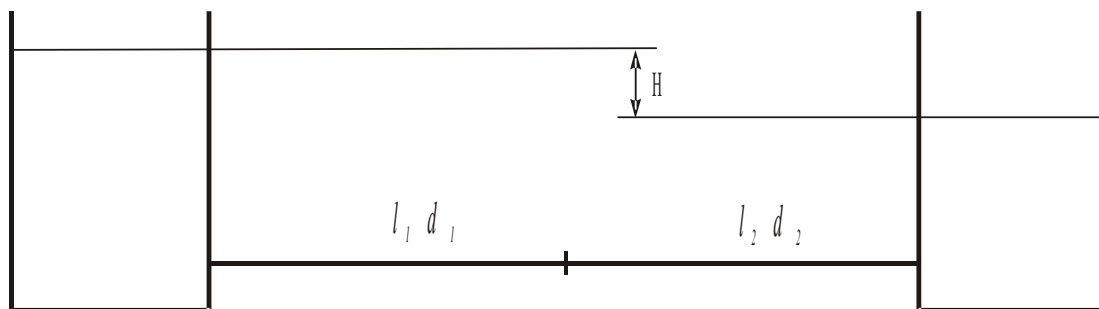


Рисунок 2

Вихідні дані за варіантом подані в таблиці 3.

Таблиця 3

Вихідні дані	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d_1, мм$	40	20	25	32	40	50	15	20	25	32
$d_2, мм$	50	15	20	25	32	40	20	15	32	40
$l_1, м$	10,0	5,0	8,5	7,0	9,0	15,0	5,0	8,0	5,0	5,0
$l_2, м$	10,0	6,0	7,0	6,0	8,0	10,0	5,0	4,0	7,0	10,0
$k_e, мм$	0,15	0,08	0,10	0,15	0,10	0,20	0,10	0,09	0,15	0,18
$Q, л/с$	2,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,2	1,8	2,5
$t, °C$	20	25	30	35	40	45	50	55	40	20

Задача 4. Трапецієподібний канал (рисунок 3) із шириною по дну b , закладенням укосів $m = ctg\psi$, ухилом дна i , шорсткістю n служить для відводу атмосферних опадів у кількості Q . Визначити глибину води в каналі при рівномірному русі.

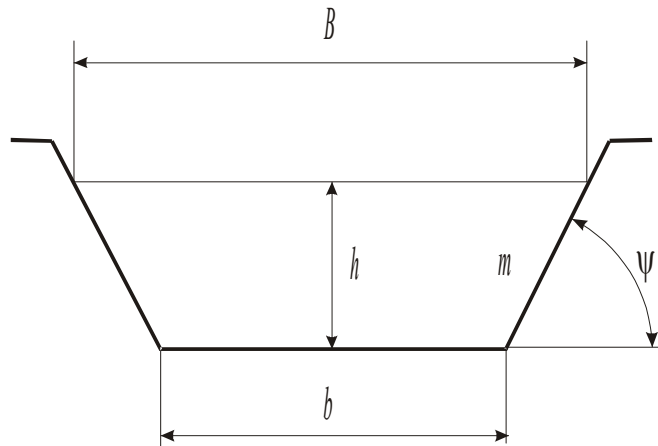


Рисунок 3

Вихідні дані за варіантом подані в таблиці 4.

Таблиця 4

Вихідні дані	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$b, м$	2	4	6	8	10	3	5	7	9	5
m	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0	1,5
$i, ‰$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
n	0,02 5	0,01 7	0,01 4	0,02 2	0,01 3	0,02 6	0,02 4	0,01 9	0,02 8	0,01 4
$Q, м^3/с$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	2,5	3,5	4,5	5,5	4,0

Задача 5. Побудувати епюри розподілу надлишкового тиску від статичної складової вітрового навантаження на огорожувальні конструкції будівлі із двосхилим покриттям (рисунок 4), якщо швидкість вітру V_a , кут схилу α , висота будівлі H , ширина будівлі l , $B/l > 2$ (де B – довжина будівлі), густина повітря $\rho = 1,1 \text{ кг/м}^3$.

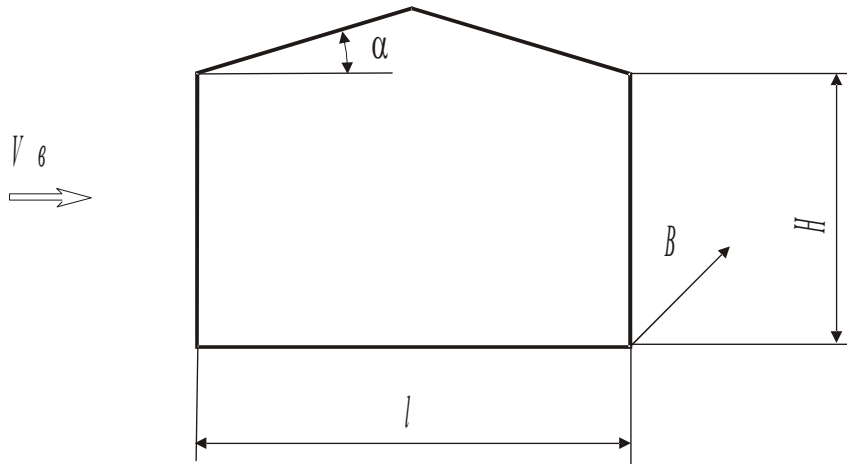


Рисунок 4

Вихідні дані за варіантом подані в таблиці 5.

Таблиця 5

Вихідні дані	Остання цифра шифру									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_a, \text{ м/с}$	15	20	25	28	25	18	20	16	15	20
α^0	60	40	20	20	40	40	20	60	60	40
$H, \text{ м}$	3	6	7	8	12	15	9	12	8	6
$l, \text{ м}$	6	12	7	4	24	30	9	6	16	12

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1 Трубопровід довжиною $l=1100$ м і діаметром $d=350$ мм підготовлений до гідравлічних випробувань на герметичність і заповнений водою при атмосферному тиску. Визначити об'єм води, який потрібно додатково подати у трубопровід, якщо підвищити надлишковий тиск у ньому до $p=0,5$ МПа. Коефіцієнт об'ємного стиснення води $\beta_p=0,0005$ 1/МПа. Деформаціями труб знехтувати.

Розв'язання. Визначаємо початковий об'єм води у трубопроводі при атмосферному тиску (надлишковий тиск дорівнює нулю):

$$W_0 = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 0,35^2}{4} \cdot 1100 = 106 \text{ м}^3. \quad (1)$$

Після підвищення тиску вода в трубопроводі буде знаходитись у стисненому стані. Об'єм води, який потрібно додатково подати у трубопровід, якщо підвищити надлишковий тиск у ньому до $p=0,5$ МПа, буде зумовлено стисливістю води:

$$\Delta W = \beta_p W_0 (p - p_0) = 0,0005 \cdot 10^6 \cdot 106 \cdot (0,5 \cdot 10^6 - 0) = 0,0265 \text{ м}^3, \quad (2)$$

де $p_0=0$ – надлишковий тиск до його підвищення.

Задача 2. Водозливна стінка ламаного профілю (рисунок 1) має висоту $H=4$ м й ширину $b=3,6$ м. Висота вертикальної частини $h=2,5$ м. Кут $\alpha=30^\circ$.

Визначити сили гідростатичного тиску на вертикальну й похилу частини стінки та точки їх прикладення і побудувати епюри гідростатичного тиску. Густина води $\rho=1000$ кг/м³.

Розв'язання. Надлишковий тиск у точці А (рисунок 5) дорівнює нулю.

Визначимо надлишковий тиск у точці В (рисунок 5):

$$p_B = \rho gh = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5 = 24,5 \text{ кПа.} \quad (3)$$

Визначимо надлишковий тиск у точці С (рисунок 5):

$$p_C = \rho gH = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4 = 39,2 \text{ кПа.} \quad (4)$$

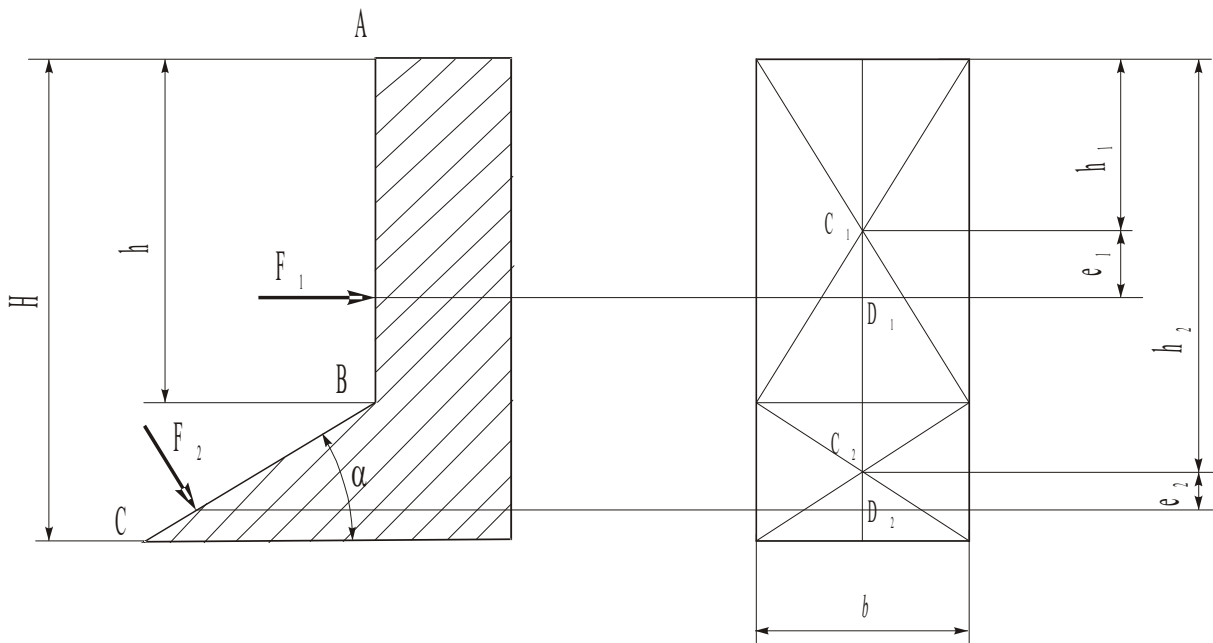


Рисунок 5

Епюри гідростатичного тиску побудовані за визначеними надлишковими тисками у точках А, В, С, зображеними на рисунку 6.

Сила гідростатичного тиску на вертикальну стінку

$$F_1 = p_{C_1} b h = \rho g \frac{h^2}{2} b = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,5^2}{2} \cdot 3,6 = 110 \text{ кН,} \quad (5)$$

де p_{C_1} – тиск у центрі ваги площі вертикальної стінки (рисунок 5),

$$p_{C_1} = \rho g h_1 = \rho g \frac{h}{2};$$

h_1 – координата положення центра ваги площі стінки відносно вільної поверхні, $h_1 = \frac{h}{2}$.

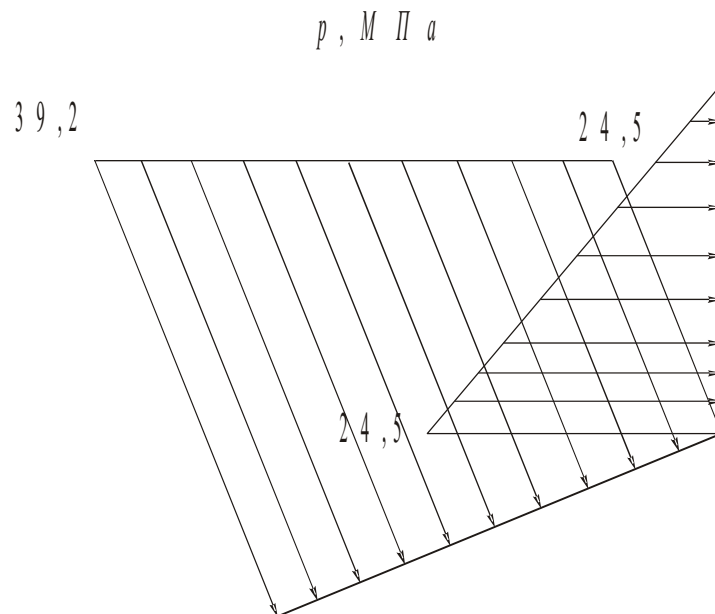


Рисунок 6

Зсув центру тиску D_1 (рисунок 5) сили F_1 відносно центра ваги C_1 площі стінки

$$e_1 = \frac{I_{Cx1}}{h_1 b h} = \frac{b h^3 \cdot 2}{12 \cdot h b h} = \frac{h}{6} = \frac{2,5}{6} = 0,42 \text{ м}, \quad (6)$$

де $I_{Cx1} = \frac{b h^3}{12}$ – центральний момент інерції площі вертикальної стінки.

Сила гідростатичного тиску на похилу стінку

$$F_2 = p_{C_2} b \frac{H-h}{\sin \alpha} = \rho g b \frac{H^2 - h^2}{2 \cdot \sin \alpha} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,6 \cdot \frac{4^2 - 2,5^2}{2 \cdot \sin 30^\circ} = 344 \text{ кН}, \quad (7)$$

де p_{C_2} – тиск у центрі ваги площі похилої стінки (рисунок 5),

$$p_{C_2} = \rho g h_2 = \rho g \frac{H+h}{2};$$

h_2 – координата положення центру ваги площі стінки відносно

$$\text{вільної поверхні, } h_2 = h + \frac{H-h}{2} = \frac{H+h}{2}.$$

Зсув центра тиску D_2 (рисунок 5) сили F_2 відносно центра ваги C_2 площі проекції похилої стінки на вертикальну площину

$$\begin{aligned} e_2 &= \frac{I_{Cx2}}{h_2 b (H-h)} = \frac{b(H-h)^3 \cdot 2}{12 \cdot (H+h) \cdot b \cdot (H-h)} = \frac{(H-h)^2}{6 \cdot (H+h)} = \\ &= \frac{(4-2,5)^2}{6 \cdot (4+2,5)} = 0,058 \text{ м}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $I_{Cx2} = \frac{b(H-h)^3}{12}$ – центральний момент інерції площі проекції похилої стінки на вертикальну площину.

Задача 3. Вода перетікає з резервуара в резервуар (рисунок 2) по системі трубопроводів діаметрами $d_1 = 32 \text{ мм}$ і $d_2 = 40 \text{ мм}$ та довжинами відповідно $l_1 = 2 \text{ м}$ і $l_2 = 2 \text{ м}$. Еквівалентна шорсткість труб $k_e = 0,15 \text{ мм}$. Витрата води $Q = 2,5 \text{ л/с}$. Температура води $t = 18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначити напір води H й побудувати лінію повного напору та п'єзометричну лінію.

Розв'язання. Складемо рівняння Бернуллі для перерізів потоку 3-3 та 4-4 (рисунок 7):

$$z_3 + \frac{p_3}{\rho g} + \alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\rho g} + \alpha_4 \frac{V_4^2}{2g} + \sum h_{3-4}, \quad (9)$$

де для обраних перерізів: $z_3 - z_4 = H$; $p_3 = p_4 = 0$.

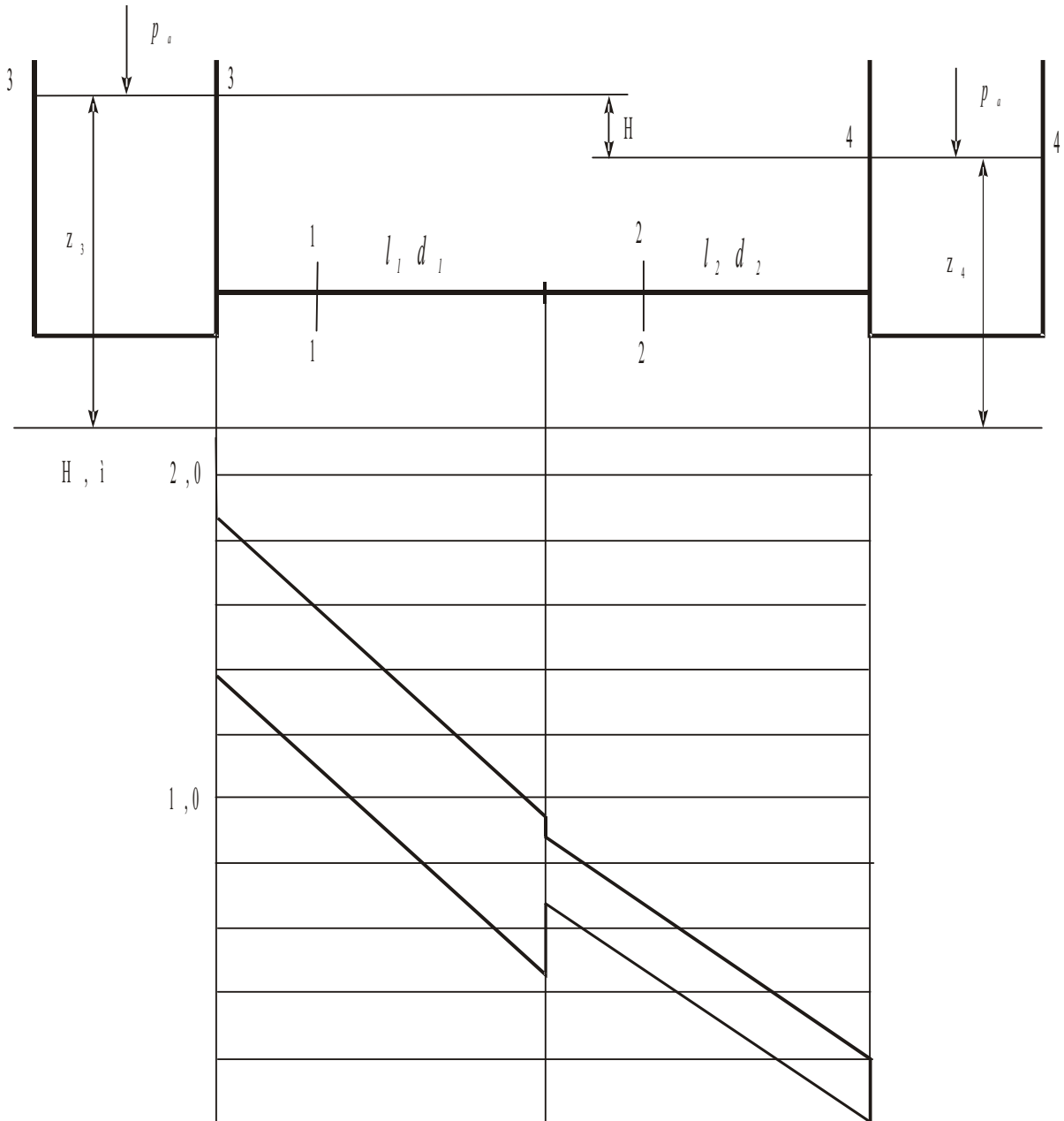


Рисунок 7

Крім того, із рівняння витрати

$$Q = V_1 S_1 = V_2 S_2 = V_3 S_3 = V_4 S_4, \quad (10)$$

$$\text{де } S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \quad S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}, \quad S_3 \ll S_1, \quad S_4 \ll S_2,$$

впливає

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2}, \quad V_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2}, \quad V_3 = V_1 \frac{S_1}{S_3} \approx 0 \quad (S_3 \ll S_1), \quad V_4 = V_2 \frac{S_2}{S_4} \approx 0 \quad (S_4 \ll S_2).$$

Тоді з рівняння Бернуллі (9)

$$H = \sum h_{3-4}. \quad (11)$$

Втрати напору

$$\sum h_{3-4} = h_{\text{ex}} + h_{m1} + h_{pp} + h_{m2} + h_{\text{exit}}, \quad (12)$$

де h_{ex} – місцеві втрати напору на вході в трубопровід,

$$h_{\text{ex}} = \zeta_{\text{ex}} \frac{V_1^2}{2g} = \zeta_{\text{ex}} \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 g d_1^4};$$

h_{m1} – втрати напору по довжині першого трубопроводу,

$$h_{m1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} = \lambda_1 \frac{8 l_1 Q^2}{\pi^2 g d_1^5};$$

h_{pp} – місцеві втрати напору при раптовому розширенні ($d_1 < d_2$),

$$h_{pp} = \zeta_{pp} \frac{V_1^2}{2g} = \zeta_{pp} \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 g d_1^4};$$

h_{m2} – втрати напору по довжині першого трубопроводу,

$$h_{m2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} = \lambda_2 \frac{8l_2 Q^2}{\pi^2 g d_2^5};$$

$h_{вих}$ – місцеві втрати напору на виході з трубопроводу,

$$h_{вих} = \zeta_{вих} \frac{V_2^2}{2g} = \zeta_{вих} \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 g d_2^4}.$$

Коефіцієнти місцевих опорів (додаток А):

$$\zeta_{вх} = 0,5; \zeta_{вих} = 1; \zeta_{pp} = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,032^2}{0,04^2}\right)^2 = 0,130.$$

При температурі $t = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ кінематична в'язкість води $\nu = 0,0107 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (додаток А).

Число Рейнольдса для потоку води в першому трубопроводі

$$\text{Re}_1 = \frac{4Q}{\pi d_1 \nu} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,032 \cdot 0,0107 \cdot 10^{-4}} = 94700.$$

Число Рейнольдса для потоку води в другому трубопроводі

$$\text{Re}_2 = \frac{4Q}{\pi d_2 \nu} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,04 \cdot 0,0107 \cdot 10^{-4}} = 75800.$$

Знайдені числа Рейнольдса вказують на турбулентний режим течії в трубопроводах ($\text{Re}_i > \text{Re}_{кр} = 2320$, $i = 1, 2$, де $\text{Re}_{кр}$ – критичне число Рейнольдса).

При турбулентному режимі течії: коефіцієнти Коріоліса, що враховують нерівномірність розподілу швидкості по перерізу потоку $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 1$; коефіцієнт втрат по довжині потоку на тертя можна визначати за формулою Альтшуля:

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

Тоді

$$\lambda_1 = 0,11 \left(\frac{68}{94700} + \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 0,0298;$$

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{68}{75800} + \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 0,0281;$$

втрати напору:

$$h_{\text{ex}} = 0,5 \frac{8 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,032^4} = 0,25 \text{ м};$$

$$h_{m1} = 0,0298 \frac{8 \cdot 2 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,032^5} = 0,92 \text{ м};$$

$$h_{pp} = 0,13 \frac{8 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,032^4} = 0,064 \text{ м};$$

$$h_{m2} = 0,0281 \frac{8 \cdot 2 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,04^5} = 0,69 \text{ м};$$

$$h_{\text{вх}} = 1 \cdot \frac{8 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,04^4} = 0,20 \text{ м}.$$

Тоді напір за формулами (11), (12)

$$H = h_{\text{ex}} + h_{m1} + h_{pp} + h_{m2} + h_{\text{вх}} = 0,25 + 0,92 + 0,064 + 0,69 + 0,20 = 2,12 \text{ м}.$$

Для побудови п'єзометричної лінії, яка відображає зміну гідростатичного напору вздовж потоку, додатково визначимо швидкісні напори в трубопроводах:

$$H_{V1} = \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = \alpha_1 \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 g d_1^4} = 1 \cdot \frac{8 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,032^4} = 0,49 \text{ м};$$

$$H_{V2} = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = \alpha_2 \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 g d_2^4} = 1 \cdot \frac{8 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2}{3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,04^4} = 0,20 \text{ м}.$$

Лінія повного напору відображає зміну повного напору вздовж потоку. Для кожного наступного $i+1$ -го перерізу потоку напір

$$H_{i+1} = H_i - h_{i,i+1}, \quad (13)$$

де H_i – повний напір в i -му попередньому перерізі потоку;

$h_{i,i+1}$ – втрати напору між перерізами потоку i та $i+1$.

Таким чином, послідовно для перерізів потоку, які вибирають попарно, використовуючи формулу (13) та знайдені значення H , h_{ex} , h_{m1} , h_{pp} , h_{m2} , $h_{вух}$, можна одержати повні напори у характерних перерізах уздовж потоку та за ними побудувати лінію повного напору.

Гідростатичний напір в i -му перерізі потоку визначається як різниця між повним та швидкісним напорами:

$$\left(z + \frac{P}{\rho g}\right)_i = H_i - H_{Vi}. \quad (14)$$

На рисунку 7 зображено побудовані лінію повного напору та п'єзометричну лінію з визначенням напорів відносно площини порівняння – перерізу потоку 4-4.

Задача 4. Трапецієподібний канал (рисунок 3) із шириною

по дну $b = 5\text{ м}$, закладенням укосів $m = 1,0$, ухилом дна $i = 0,0005$, шорсткістю $n = 0,025$ служить для відводу атмосферних опадів у кількості $Q = 4,0\text{ м}^3/\text{с}$. Визначити глибину води в каналі при рівномірному русі.

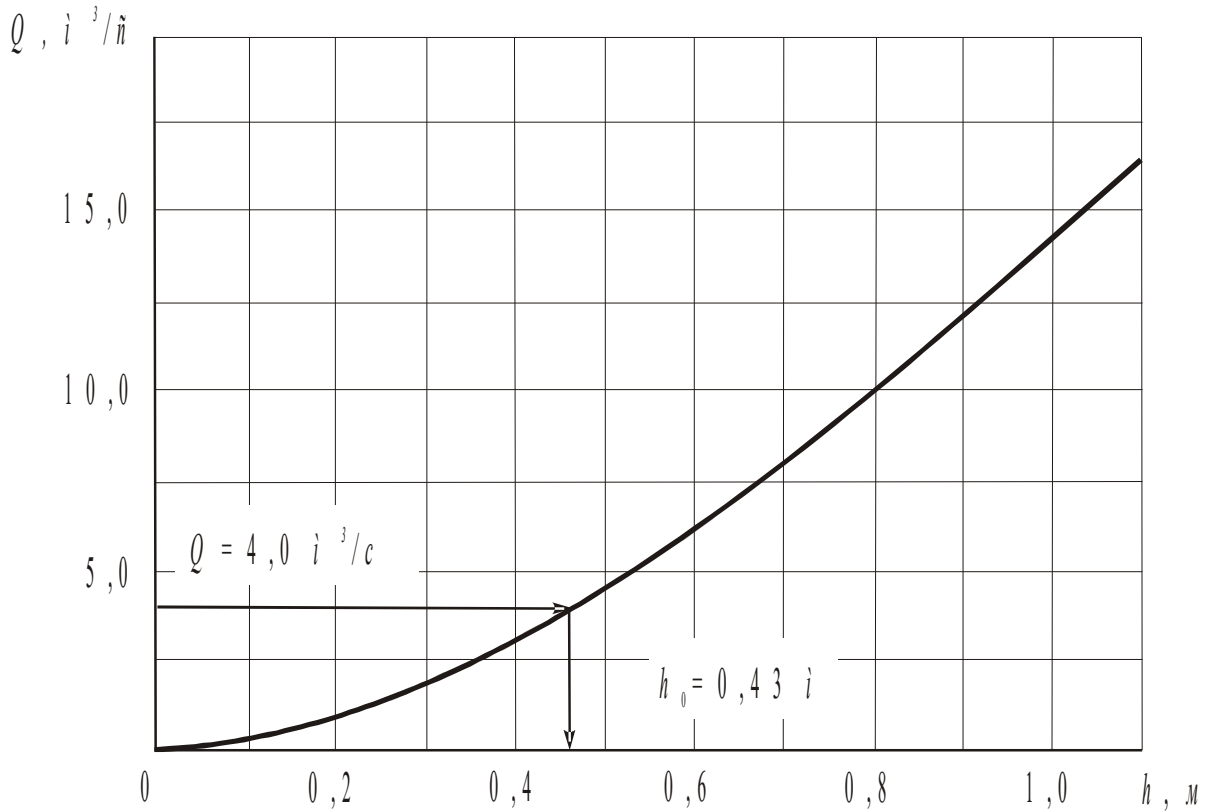


Рисунок 8

Розв'язання. Використовуючи формулу Шезі

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{Ri}, \quad (15)$$

задаючись рядом глибин, обчислюємо параметри потоку для кожної із глибин і відповідні витрати:

площу перерізу потоку

$$\omega = (b + mh) h; \quad (16)$$

змочений периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}; \quad (17)$$

гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (18)$$

коефіцієнт Шезі

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (19)$$

Розрахунок за формулами (15)-(19) зводимо до таблиці 6.

Таблиця 6

$h, м$	$\omega, м^2$	$\chi, м$	$R, м$	$C, м^{0,5}/с$	$Q = \omega \cdot C \sqrt{Ri}, м^3/с$
0,10	0,51	5,28	0,10	27,09	0,10
0,20	1,04	5,57	0,19	30,24	0,31
0,30	1,59	5,85	0,27	32,19	0,63
0,40	2,16	6,13	0,35	33,62	1,03
0,50	2,75	6,41	0,43	34,73	1,51
0,60	3,36	6,70	0,50	35,66	2,08
0,70	3,99	6,98	0,57	36,44	2,72
0,80	4,64	7,26	0,64	37,12	3,44
0,90	5,31	7,55	0,70	37,72	4,25
1,00	6,00	7,83	0,77	38,27	5,13

За даними таблиці будемо графік (рисунок 8) і знаходимо

за заданою витратою відповідну їй глибину.

Глибина води в каналі $h_0 = 0,86$ м.

Задача 5. Побудувати епюри розподілу надлишкового тиску від статичної складової вітрового навантаження на огорожувальні конструкції будівлі із двосхилим покриттям (рисунок 4), якщо швидкість вітру $V_a = 22$ м/с, кут схилу $\alpha = 40^\circ$, висота будівлі $H = 12$ м, ширина будівлі $l = 24$ м, $B/l > 2$ (де B – довжина будівлі), густина повітря $\rho = 1,1$ кг/м³.

Розв’язання. Величина тиску в окремих точках контура огорожувальної конструкції будівлі може бути охарактеризована безрозмірною величиною – аеродинамічним коефіцієнтом, який є відношенням надлишкового (манометричного) тиску в даній точці контура до динамічного тиску вітрового потоку, взятого на достатньому віддаленні від будівлі:

$$C = \frac{p}{\frac{\rho V_a^2}{2}}, \quad (20)$$

де p – тиск у даній точці;

ρ – густина повітря;

V_a – швидкість повітря на достатньому віддаленні від будівлі.

Розподіл значень цього коефіцієнта по контуру огорожувальної конструкції будівлі визначають експериментально.

Отже, знаючи швидкість вітру і значення аеродинамічного коефіцієнта, шуканий тиск у будь-якій точці контура легко обчислити за допомогою формули (20). Тобто надлишковий тиск виражається функцією

$$p = C \frac{\rho V_a^2}{2}. \quad (21)$$

Для визначення аеродинамічного коефіцієнта скористаємось довідковими даними (додаток А).

При $B/l > 2$, $\frac{H}{l} = \frac{12}{24} = 0,5$ та $\alpha = 40^0$ аеродинамічні коефіцієнти для заданої будівлі (рисунок 9):

$$C_1 = +0,3; C_2 = -0,4; C_3 = -0,6.$$

Тоді відповідні тиски за формулою (21):

$$p_0 = 0,8 \cdot \frac{1,1 \cdot 22^2}{2} = 213 \text{ Па};$$

$$p_1 = 0,3 \cdot \frac{1,1 \cdot 22^2}{2} = 79,9 \text{ Па};$$

$$p_2 = -0,4 \cdot \frac{1,1 \cdot 22^2}{2} = -106 \text{ Па};$$

$$p_3 = -0,6 \cdot \frac{1,1 \cdot 22^2}{2} = -160 \text{ Па}.$$

Епюри розподілу надлишкового тиску від статичної складової вітрового навантаження на огорожувальні конструкції будівлі із двосхилим покриттям у заданому випадку зображено на рисунку 10.

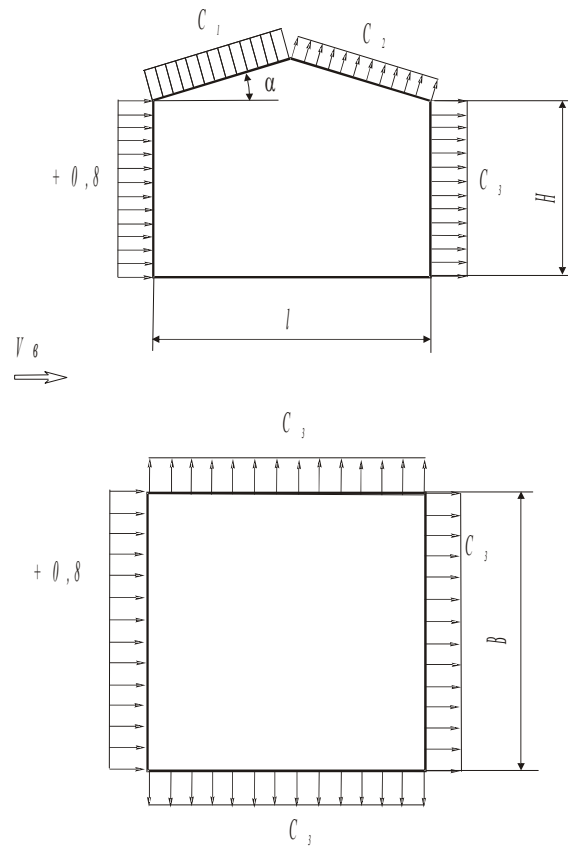


Рисунок 9

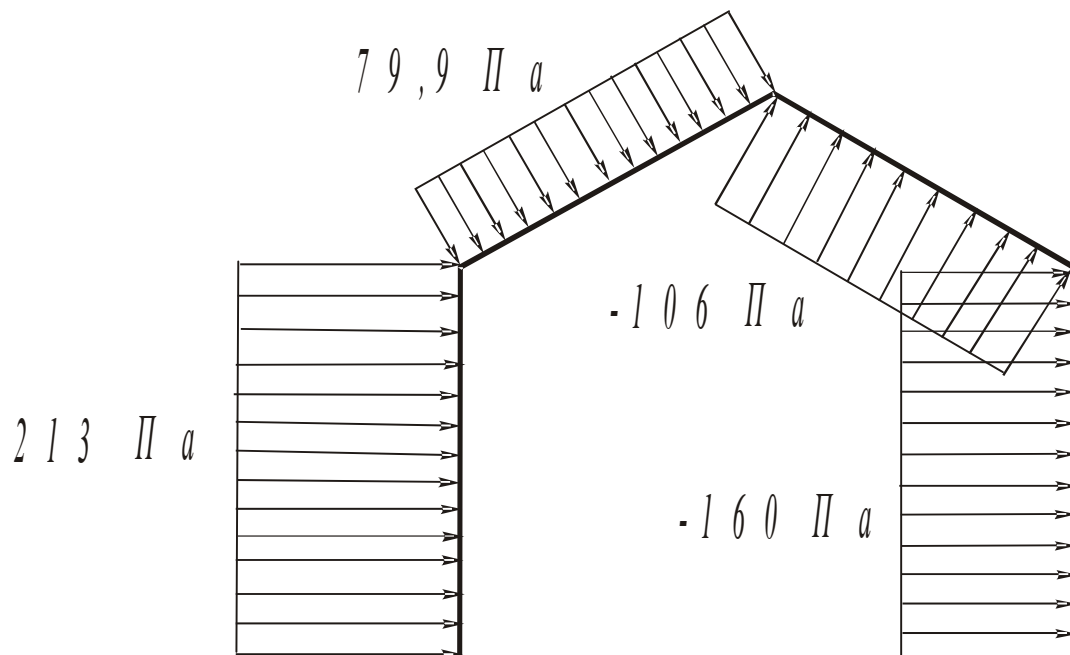


Рисунок 10

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

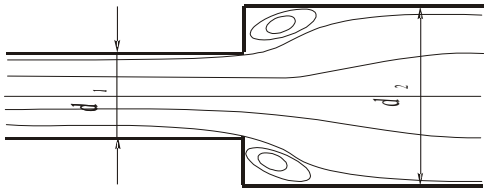
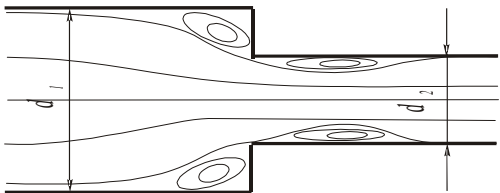
- 1 Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Технічна механіка рідини і газу: Підручник. – К.: Вищ. шк., 2002. – 277 с.
- 2 Смыслов В.В. Гидравлика і аеродинаміка. – К.: Вищ. школа, 1971. – 348 с.
- 3 Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
- 4 Повх И.Л. Техническая гидромеханика. – Л.: Машиностроение, 1969. – 524 с.
- 5 Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учеб. для вузов: – В 2 кн. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – Кн. 1.; – 351 с., Кн. 2. – 367 с.
- 6 Руководство к лабораторным работам по гидравлике. – Харьков: ХИИТ, 1992. – Ч. 1. – 36 с.
- 7 Руководство к лабораторным работам по гидравлике. Харьков: ХИИТ, 1992. – Ч. 2. – 36 с.
- 8 Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. – М.: Стройиздат, 1978. – 216 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Кінематична в'язкість води

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\nu, \text{см}^2/\text{с}$	0,0178	0,0131	0,0101	0,0090	0,0066	0,0058	0,0048	0,0040	0,0036	0,0030

Таблиця А.2 – Коефіцієнти місцевих опорів

Вхід у трубу з резервуара під прямим кутом	0,5
Вихід з труби у резервуар під прямим кутом	1
<p>Раптове розширення труби</p> 	$h = \zeta \frac{V_1^2}{2g}, \quad \zeta = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$
<p>Раптове звуження труби</p> 	$h = \zeta \frac{V_2^2}{2g}, \quad \zeta = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right)$

Аеродинамічні коефіцієнти для будівель з двосхилим покриттям (за даними [8])

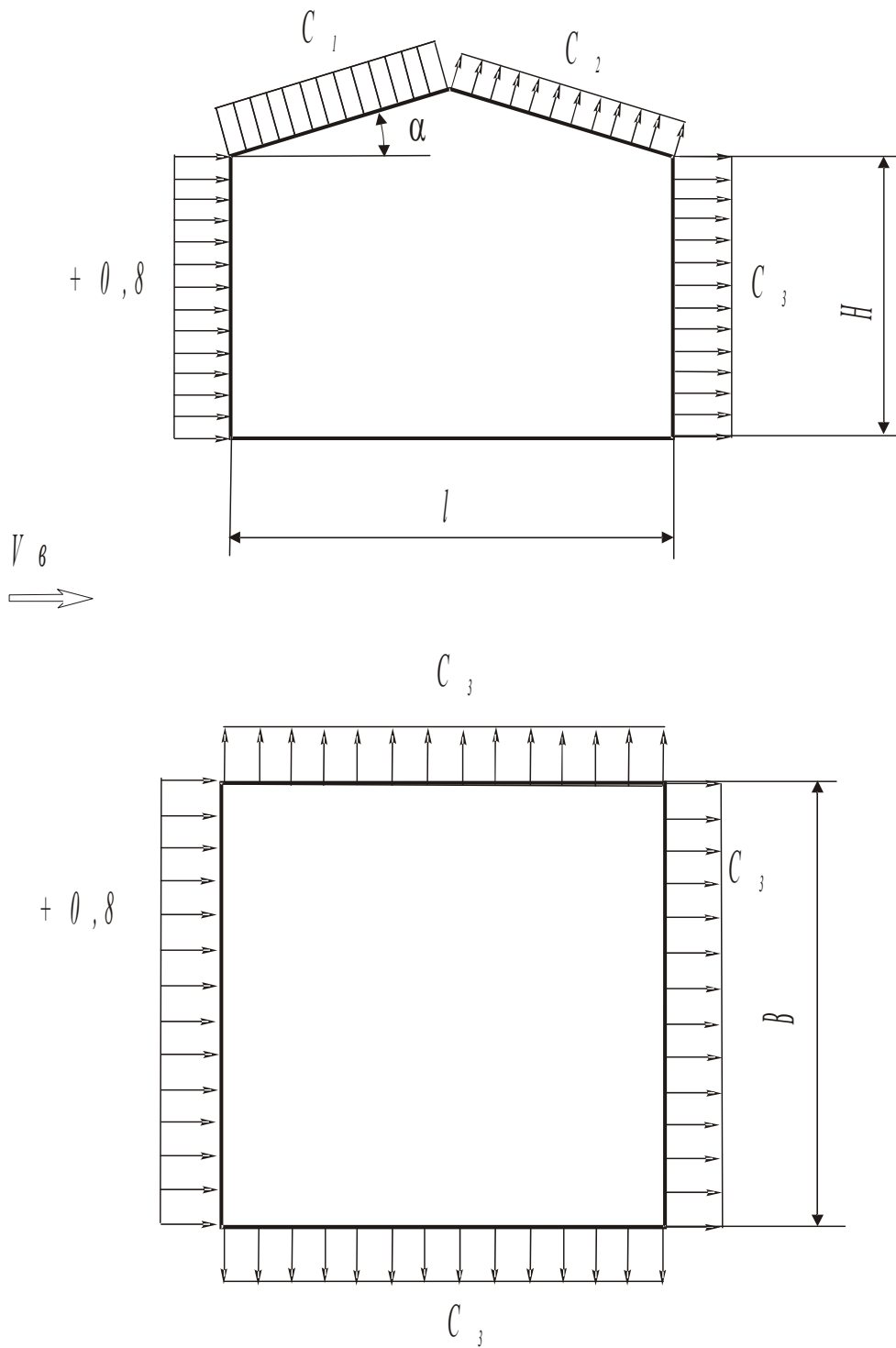


Рисунок А.1

Таблиця А.3

Коефіцієнт	α^0	H/l			
		0	0,5	1	≥ 2
C_1	0	0	-0,6	-0,7	-0,8
	20	+0,2	-0,4	-0,7	-0,8
	40	+0,4	+0,3	-0,2	-0,4
	60	+0,8	+0,8	+0,8	+0,8
C_2		-0,4	-0,4	-0,5	-0,8
C_3					
B/l	H/l				
	$\leq 0,5$	1	≥ 2		
≤ 1	-0,4	-0,5	-0,6		
≥ 2	-0,5	-0,6	-0,6		

