

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

02/03-09М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсової роботи із
навчальної дисциплін «ГІДРАВЛІКА»
на тему «ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ВІДКРИТИХ
РУСЕЛ І ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньою програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145
«Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 2 від 13 жовтня 2025 року

РІВНЕ – 2025

Методичні вказівки до виконання курсової роботи із навчальної дисциплін «Гідравліка» на тему «Гідравлічні розрахунки відкритих русел і гідротехнічних споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньою програмою «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Токар Л. О. Рівне : НУВГП, 2025. 56 с.

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

Відповідальна за випуск – Волк Л. Р., в.о.завідувача кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Попередня версія методичних вказівок 01-04-104.

Керівник групи забезпечення освітньої програми «Гідроенергетика» спеціальності 145 «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика» – Галич О. О.

© Л. О. Токар, 2025

© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	Стор. 4
1. РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ НА РІВНОМІРНИЙ РУХ	5
Задача 1	7
Задача 2	10
2. ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД	11
2.1. Гідравлічний розрахунок сапрямуючої споруди типу швидкотік	11
2.2. Гідравлічний розрахунок консольного перепаду (скиду)	19
2.3. Гідравлічний розрахунок багатосхідчастого перепаду колодезяного типу	25
2.4. Гідравлічний розрахунок водозливної греблі	32
ЛІТЕРАТУРА	45
ЗАВДАННЯ для виконання курсової роботи	46

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Робота повинна бути виконана як пояснювально-розрахункова записка на листках паперу формату А-4.

На початку записки приводиться вихідні дані для гідравлічних розрахунків.

Розрахунки виконуються в такій послідовності, яка подана в методичних вказівках. На початку кожного параграфу потрібно привести вихідні дані, частина з яких буде взята з попередніх параграфів.

У середині розділів розміщуються параграфи, котрі виділяють із загального тексту і нумерують так: для розділу 1 матимемо 1.1; 1.2; 1.*n*.

Приступаючи до розрахунків, обов'язково потрібно скласти схему гідравлічного розрахунку споруди. Всі схеми, рисунки і формули нумеруються. Нумерацію потрібно виконувати з урахуванням розділів і параграфів. Наприклад, для розділу 1 рисунки будуть 1.1; 1.2; 1.3; і т.д. Формули (1.1); (1.2) ... (1.*n*), а для розділу 2 рисунки (2.1; 2.2; 2.*n*; формули (2.1); (2.2) ... (2.*n*).

Список використаної літератури приводиться в кінці пояснювальної записки.

У записці вказуються літературні джерела, з яких беруться методи, чи формули. При цьому ставиться в квадратних дужках тільки номер літературного джерела у своєму списку, наприклад. [1,2,3...].

Результати однотипних розрахунків приводяться у вигляді таблиць, які нумеруються подібно рисункам.

Всі аркуші записки, включно з рисунками, повинні бути пронумеровані.

В розділі 2 кожний студент виконує розрахунок тільки одної спрягаючої споруди, яка йому випадає за умовою завдання, тобто: багатоступінчатий перепад, консольний перепад або швидкотік.

1. РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ НА РІВНОМІРНИЙ РУХ

Метою гідравлічних розрахунків каналів на рівномірний рух є визначення розмірів поперечних перерізів та похилу дна, котрі будуть забезпечувати стійкість русла проти розмиву та замулення.

Основною розрахунковою залежністю, яка використовується при розрахунках каналів на рівномірний рух, є формула витрати :

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} = K \sqrt{i} , \quad (1.1)$$

де $K = \omega C \sqrt{R}$ витратна характеристика; ω - площа живого перерізу потоку в каналі, яка для трапецеїдальної форми дорівнює:

$$\omega = (b + mh)h , \quad (1.2)$$

або

$$\omega = (\beta + m)h^2 , \quad (1.3)$$

де $\beta = b/h$; b - ширина дна каналу; h - глибина води в каналі; m - коефіцієнт закладення укосів каналу, який при глибині каналу до 5 м приймається за нормами [1,2]; R - гідравлічний радіус.

$$R = \frac{\omega}{\chi} , \quad (1.4)$$

χ - змочений периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} , \quad (1.5)$$

або

$$\chi = (\beta + 2\sqrt{1 + m^2})h . \quad (1.6)$$

C - коефіцієнт Шезі згідно норм [1,2] необхідно обчислювати за формулою М.М.Павловського

$$C = \frac{1}{n} R^y , \quad (1.7)$$

де $y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$, але допускається визначити за формулою Д.В.Штеренліхта

$$C = \frac{1}{n} + (27,5 - 300n) \lg R , \quad (1.8)$$

або для наближених розрахунків за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (1.9)$$

де R - гідравлічний радіус, м; n - коефіцієнт шорсткості русла каналу приймається за нормами [1,2].

Якщо канал проектується без штучного кріплення, то умовою правильного вибору розмірів каналу буде

$$V_{H3} < V_P < V_{доп.Р}, \quad (1.10)$$

де $V_{доп.Р}$ - розрахункова нерозмивна швидкість води в каналі згідно [1,2] дорівнює

$$V_{доп.Р} = k_1 k_2 V_{доп.}, \quad (1.11)$$

k_1 - коефіцієнт, який враховує відхилення питомої маси ґрунту від умовного стандартного значення $\rho_{\Gamma} = 2650 \text{ кг/м}^3$

$$k_1 = \sqrt{\frac{\rho_{\Gamma} - \rho}{1650}}, \quad (1.12)$$

де ρ_{Γ} ; ρ - відповідно. питома маса ґрунту і густина води, кг/м^3 ;

$$k_2 = \sqrt{K_C}, \quad (1.13)$$

де K_C - коефіцієнт, який враховує умови функціонування каналу і приймається за нормами [1,2].

$V_{доп.}$ - нормативне значення нерозмивальної швидкості приймається згідно [1,2].

V_{H3} - найменша швидкість води в каналі, при якій канал не замулюється (не замулююча швидкість), яку згідно [1,2] допустимо обчислювати за формулою Е.А.Замаріна

$$V_{H3} = \left(\frac{\rho_M W_0}{0,022} \sqrt{\frac{\bar{W}}{Ri}} \right)^{2/3}, \quad (1.14)$$

де ρ_M - мутність води, кг/м^3 ; R - гідравлічний радіус, м; i - похил дна каналу; $\bar{W}$ - середньозважена гідравлічна крупність наносів у воді, м/с;

$$\bar{W} = \frac{\sum W_{ci} P_i}{\sum P_i} = \frac{\sum W_{ci} P_i}{100}, \quad (1.15)$$

де W_{ci} - середньозважена гідравлічна крупність фракцій наносів, визначається як

$$W_{ci} = \frac{W_i + W_{i+1} + \sqrt{W_i W_{i+1}}}{3}, \quad (1.16)$$

де W_i ; W_{i+1} - гідравлічні крупності, які відповідають частинкам наносів з діаметрами d_n і d_{n+1} ;

P_i - процентний вміст кожної фракції наносів.

Для фракцій наносів з діаметрами $d = 0,01...0,5$ мм гідравлічна крупність W_i приведена в табл.1.1.

Таблиця 1.1

d , мм	0,5	0,25	0,1	0,05	0,02	0,01
W_i , мм/с	53	27	8	2,9	0,6	0,15

У формулі (1.13) W_0 - умовна гідравлічна крупність, яка приймається так:

якщо $0,002 < \bar{W} < 0,008$ м/с, то $W_0 = \bar{W}$,

коли $0,0004 < \bar{W} < 0,002$ м/с, то $W_0 = 0,002$ м/с.

В разі, коли $V_P > V_{ДОП.Р.}$, то необхідно запроектувати кріплення русла каналу.

Якщо $V_{НЗ} < V_P$, то замулення каналу можна уникнути збільшивши похил дна (тобто збільшити швидкість води), або запроектувати в голові каналу спеціальні відстійники, в яких за рахунок зменшення швидкості частина наносів випадає на дно.

Розглянемо дві типові задачі, які дуже часто зустрічаються в практиці проектування каналів.

Задача 1. Дано: витрати Q_{min} і Q_{max} ; похил дна каналу i ; тип ґрунту; питома маса ґрунту ρ_Γ ; розрахункове питоме зчеплення C (для зв'язних ґрунтів) або розрахунковий діаметр частинок ґрунту d (для незв'язних ґрунтів); мутність води ρ_M ; механічний склад мутності.

Визначити: коефіцієнт закладення укосів каналу m ; ширину дна каналу b ; глибини води при Q_{min} і Q_{max} ; побудувати криві функцій $Q = f_1(h)$, $V = f_2(h)$; перевірити стійкість каналу на розмив і замулення; знайти будівельну глибину каналу H_B .

Хід розрахунків

1. За табл.Д.2, Д.3 [1] призначаємо коефіцієнт шорсткості n .
2. За табл.Д.4 приймаємо коефіцієнт закладення укосів каналу m .
3. Використовуючи табл.Д.5 [1] призначаємо відносну ширину дна каналу

$$\beta = 0,5(\beta_1 + \beta_2), \quad (1.17)$$

β_1 ; β_2 - залежать від коефіцієнта m (табл.Д.5 [1], наприклад, $m = 2 - \beta_1 = 0,5$; $\beta_2 = 1,5$).

4. Задаємось глибинами води в каналі h і за формулами (1.3), (1.6) визначаємо величини ω ; χ . Обчислюємо гідравлічний радіус $R = \omega / \chi$.

5. Використовуючи формули (1.7), (1.8) або (1.9), визначаємо коефіцієнт Шезі C .

6. За формулою (1.1) визначаємо витрати Q . Якщо $Q_i \geq Q_{max}$, то розрахунки припиняємо і будуємо графік $Q = f(h)$, за допомогою якого при $Q = Q_{max}$ визначаємо глибину води h_p (див.рис.1.1.). Результати розрахунків зводимо у табл.1.2.

Таблиця 1.2.

Визначення глибини води в каналі при Q_{max} і $\beta = const$

$h, м$	$\omega, м^2$	$\chi, м$	$R, м$	C	$Q, м^3/с$
h_1					$Q_1 < Q_{max}$
$\cdot$					$\cdot$
$\cdot$					$\cdot$
h_i					$Q_i \geq Q_{max}$

7. Обчислюємо ширину дна каналу $b_p = \beta h_p$ і приймаємо її такою: якщо $b_p < 5$ м, то ширину дна можна проектувати з інтервалом 0,5 м. Коли $b_p > 5$ м, то інтервал через 1 м.

8. З призначеною шириною дна каналу $b = const$ будуємо криві $Q = f_1(h)$, $V = f_2(h)$ (рис.1.2). Для цього задаємось глибинами води h і використовуємо формули: (1.2), (1.5), (1.4), (1.8), (1.1) обчислюємо ω , χ , R , C , Q і $V = Q/\omega$. Результати розрахунків зводимо у табл.1.3.

Таблиця 1.3.
Визначення витрат та швидкостей потоку при $b = const$

$h, м$	$\omega, м^2$	$\chi, м$	$R, м$	C	$Q, м^3/с$	$V, м/с$
h_1					$Q_1 < Q_{max}$	
$\vdots$					$\vdots$	
h_i					$Q_i \geq Q_{max}$	

9. За графіками $Q = f_1(h)$, $V = f_2(h)$ рис.1.2 при Q_{min} і Q_{max} визначаємо h_{max} ; h_{min} ; V_{max} ; V_{min} .

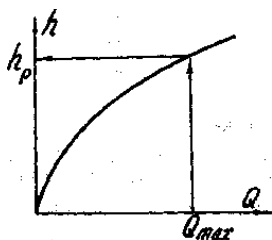


Рис.1.1. Графік $Q = f_1(h)$;

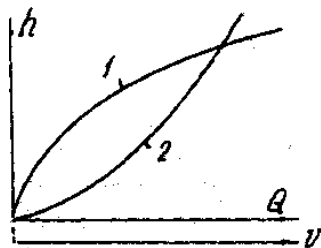


Рис.1.2. Графіки: 1 - $Q = f(h)$
при $\beta = const$
2 - $V = f_2(h)$ при $b = const$

10. Використовуючи табл.Д.6; Д.10-Д.14 [1] і формули (1.11) – (1.13), визначаємо допустиму нерозмиваючу швидкість $V_{\text{доп.р.}}$.

11. При $V_{\min}$ обчислюємо $R_{\min}$.

12. Використовуючи механічний та процентний склад мутності, за формулою (1.15) визначаємо середньозважену гідравлічну крупність $\bar{W}$.

13. За формулою (1.14) обчислюємо граничну незамулюючу швидкість $V_{\text{н.з.}}$.

14. Якщо виконується умова (1.10), то визначаємо будівельну глибину каналу

$$H_B = h_{\max} + \Delta h, \quad (1.17)$$

де Δh - сухий запас для каналів при рівномірному русі можна призначити за табл.Д.7 [1].

Задача 2. Дано: Витрата Q_p , тип ґрунту, питома маса ґрунту ρ_{Γ} ; розрахункове зчеплення ґрунту C або розрахунковий діаметр частинок ґрунту d .

Визначити: ширину дна каналу, глибину води при розрахунковій витраті Q_p , будівельну глибину каналу.

Хід розрахунків

1. За табл. Д.2 або Д.3 стор.443 [1] призначаємо коефіцієнт шорсткості русла n .

2. За табл.Д.4 приймає коефіцієнт закладення укосів m .

3. Призначаємо відносну ширину дна каналу $\beta = b/h$:

$$\beta = 2,5 + 0,5m. \quad (1.18)$$

4. Орієнтовно призначаємо глибину води в каналі за формулою С.А.Гіршкана

$$h = (0,85 \dots 1) Q_p^{1/3}. \quad (1.19)$$

5. Використовуючи одну з табл.Д.6; Д.10-Д.14 і орієнтовне значення глибини води h_p (1.19), знаходимо допустиму нерозмиваючу швидкість $V_{доп.}$.

6. За формулою (1.11) визначаємо допустиму нерозмиваючу швидкість $V_{доп.р.}$.

7. Визначаємо глибину води в каналі при $V_{доп.р.}$

$$h_p = \sqrt{\frac{Q_p / V_{доп.р.}}{\beta + m}} . \quad (1.20)$$

8. Знаходимо ширину дна каналу

$$b_p = \beta \cdot h_p . \quad (1.21)$$

9. Визначену ширину дна b_p округлюємо до стандартних значень (див.задачу 1).

10. За формулами (1.2); (1.5); (1.7) визначаємо параметри ω ; χ ; C і обчислюємо похил дна каналу

$$i = \frac{Q_p^2}{\omega^2 C^2 R} . \quad (1.22)$$

11. Призначаємо будівельну глибину каналу при рівномірному руслі

$$H_B = h_p + \Delta h , \quad (1.23)$$

де Δh - сухий запас каналу визначаємо за табл.Д.7 [1].

2. ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

2.1. Гідравлічний розрахунок сапряжуючої споруди типу швидкотік

Загальна схема швидкотоку на трапецеїдальному каналі зображена на рис.2.1.

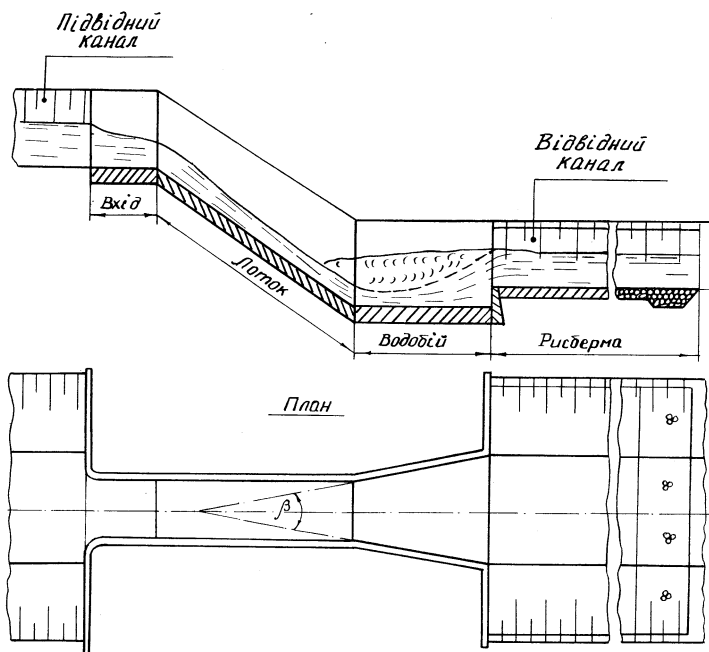


Рис.2.1. Схема швидкотоку

Гідравлічний розрахунок швидкотоку складається з розрахунку: входу; лотка швидкотоку; водобою і рисберми.

Розрахунок входу

Входи швидкотоків часто влаштовують як водозлив з широким порогом рис.2.2.

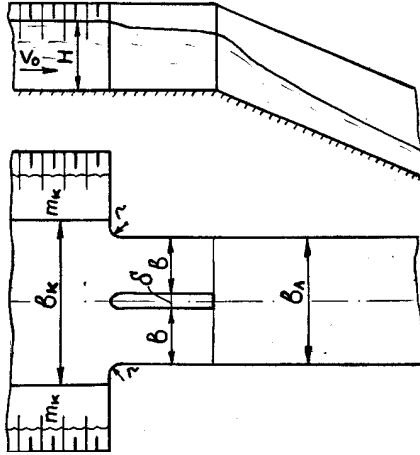


Рис.2.2. Схема до гідравлічного розрахунку входу

Розрахунок входу зводиться до визначення ширини входу. Для цього використовують формулу водозливу

$$Q = \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (2.1)$$

де ε - коефіцієнт бокового стиснення потоку; H_0 - повний напір на порозі водозливу; m - коефіцієнт витрати водозливу, величину якого при висоті порогу $P_B = 0$ можна визначити за формулою [1,5]

$$\varepsilon = 1 - K_1 \cdot K_2, \quad (2.2)$$

де коефіцієнт $K_1 = 1$ при $b/B_0 \leq 0,2$, а при $b/B_0 > 0,2$ за формулою [5]

$$K_1 = 1 - 1,4 \left(\frac{b}{B_0} - 0,2 \right)^{3/2}, \quad (2.3)$$

де b - ширина одного прогону; B_0 - ширина потоку перед прогоном;

K_2 - коефіцієнт, що враховує відносне закруглення напірних граней боків та стоянів r/b (рис.2.2):

Якщо $r/b \geq 0,5$, то $K_2 = 0,04$;

Коли $r/b < 0,5$, то

$$K_2 = 0,17 - \sqrt{r/(30b)} . \quad (2.4)$$

У разі, коли коефіцієнти ε для центральних і крайніх прогонів різні, то коефіцієнт бокового стиснення приймають за формулою

$$\varepsilon = \frac{2\varepsilon_K + (n-2)\varepsilon_{Ц}}{n} , \quad (2.5)$$

де ε_K , $\varepsilon_{Ц}$ - коефіцієнти бокового стиснення потоку, що обчислені за формулою (2.2), відповідно, для крайніх і центральних прогонів.

Розглянемо задачу визначення ширини входу B .

Приклад. Дано: Розрахункова витрата Q_p глибина води в верхньому б'фі h_B ; коефіцієнт укосів каналу m_K ; ширина дна каналу b_K ; радіус закруглення стоянів та биків r ; висота порогу водозливу $P_B = 0$. Визначити ширину входу B та кількість прогонів n .

Хід розрахунку

Перше наближення

1. Визначаємо повний напір

$$H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2}{2g} = h_B + \frac{\alpha V_0^2}{2g} , \quad (2.6)$$

де $\alpha = 1,05$; $V_0 = Q_p / \omega_b$; $\omega_b = (b_k + m_K H)H$.

2. Задаємось значенням $\varepsilon \cdot m = 0,35 \dots 0,36$, з формули (2.1) знаходимо ширину B .

3. Призначаємо ширину одного прогону $b = (1 \dots 2)H$.

4. Призначаємо товщину биків $\delta = (0,2 \dots 0,3)b$.

Друге наближення

1. Задаємось відношенням r/b і за формулою (2.2) визначаємо коефіцієнт ε .
2. За табл.3.3 стор.92 [1] при $P_b/H = 0$ знаходимо значення m .
3. За формулою (2.1) визначаємо в другому наближенні ширину B . Якщо вона відрізняється від попереднього значення не більше ніж на 3 %, то третього наближення не робимо.
4. Уточнюємо ширину кожного прогону $b = B/n$
5. Визначаємо повну ширину входу B_B

$$B_B = b \cdot n + (n-1)\delta, \quad (2.7)$$

де δ - товщина бика.

Розрахунок лотка швидкотоку

В курсовій роботі поперечний переріз лотка можна прийняти прямокутної форми з постійною шириною $b_L = B_B$, де B_B - повна ширина входу швидкотоку.

При розрахунках лотків розрізняють лотки гідравлічно короткі і гідравлічно довгі.

У випадку короткого лотка в його кінці утворюється глибина потоку (в залежності від типу кривої вільної поверхні) h_{KH} h_0 , де h_0 - глибина рівномірного руху в лотку. Якщо маємо криву спаду типу b_2 , то $h_{KH} > h_0$, для кривої підпору типу C_2 $h_{KH} < h_0$.

У разі довгого лотка на його кінцевій частині установлюється рівномірний рух з глибиною h_0 . Тому глибина $h_{KH} = h_0$.

Глибину рівномірного руху в лотках бистротоків визначають так як і в каналах (див. § 1.1).

Для прямокутних лотків з похилами дна $i = 0,10 \dots 0,40$, у випадку утворення в лотку кривої спаду типу b_2 , глибину води в кінці короткого прямокутного лотка можна визначити з рівняння Бернуллі, складеного для перерізів 1-1 і 2-2 рис.2.3 [1].

$$h_{KH} = \frac{Q}{\varphi_C B_L \sqrt{2n(T_0 - h_{KH})}}, \quad (2.8)$$

де φ_C - коефіцієнт швидкості для лотків з коефіцієнтом шорсткості внутрішньої поверхні $n = 0,016-0,017$ згідно [1] можна визначити за формулою

$$\varphi_C = 1 - (0,038 - 0,051 \cdot i_L) \frac{P}{h_K}, \quad (2.9)$$

де i_L - похил дна лотка; P - загальний перепад (див.рис.2.3); h_K - критична глибина (див. формулу (2.10)):

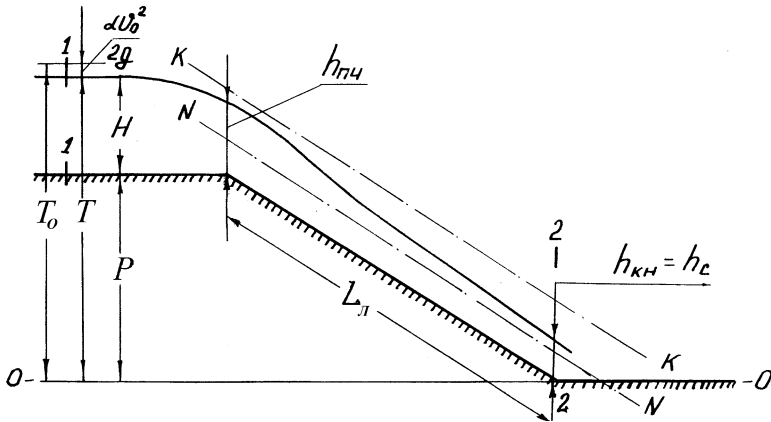


Рис.2.3. Схема до визначення глибини води в кінці лотка швидкотоку

$$h_K = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g B_L^2}}, \quad (2.10)$$

де $B_L = B_B$ - ширина дна лотка.

Якщо глибина потоку, що визначена за формулою (2.8) $h_{KH} > h_0$ (h_0 - глибина рівномірного руху в лотку), то для розрахунків спряження б'єсів приймаємо, що перша спряжебна глибина стрибка $h_1 = h_{KH}$.

У разі, коли глибина h_{KH} , яка обчислена за формулою (2.8)

$h_{KH} < h_0$, то для розрахунків спряження б'єфів приймаємо, що $h_1 = h_0$.

Розрахунок форми спряження б'єфів та водобою

На водобойі (див.рис.2.1) утворюється донний гідравлічний стрибок, який може бути: відігнаним, затопленим, у критичному положенні відносно перерізу з глибиною h_1 . Для визначення форми спряження б'єфів потрібно визначити другу спряжену глибину стрибка h_2 . З деяким запасом глибину h_2 можна визначити за формулою стрибка в прямокутному руслі, тобто

$$h_2 = \frac{1}{2} h_1 \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_K}{h_1} \right)^3} - 1 \right). \quad (2.11)$$

де h_K - критична глибина, що обчислена за формулою (2.10).

Якщо $h_2 < h_H$, то стрибок затоплений (h_H - глибина води у нижньому б'єфі швидкоотуку, в курсовій роботі $h_H = h_0$; h_0 - глибина рівномірного руху у скидному каналі).

Коли $h_2 > h_H$, то стрибок відігнаний, якщо $h_2 = h_H$, то стрибок починається у перерізі з глибиною h_1 .

У будь-якому разі стрибок має бути затопленим. Для затоплення стрибка потрібно запроєктувати гаситель енергії, наприклад, водобійний колодязь або водобійну стінку.

Для затоплення гідравлічного стрибка запроєктуємо водобійний колодязь. Схема до розрахунку водобійного колодязя зображена на рис.2.4.

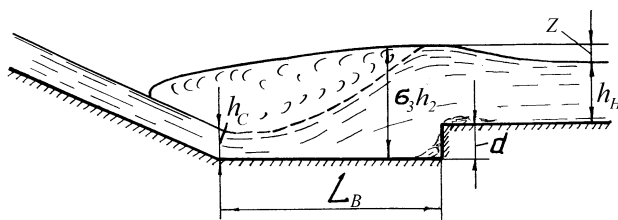


Рис.2.4. Схема до розрахунку водобійного колодязя

Зазвичай водобій і водобійний колодязь швидкоотоків розширюються у плані: проте у курсовій роботі його можна взяти прямокутним, тобто ширина водобійного колодязя $B_K = B_{\text{л}} = \text{const}$.

Тоді глибину колодязя можна визначити за формулою

$$d = \sigma_3 \cdot h_2 - h_H - Z, \quad (2.12)$$

де $\sigma_3 - 1,05 \dots 1,1$ - коефіцієнт затоплення стрибка; Z - гідравлічний перепад, який можна обчислити за формулою

$$Z = \frac{Q^2}{2g} \left[\frac{1}{(\varphi_{\text{II}} \cdot B_K h_H)^2} - \frac{\alpha}{(\sigma_3 h_2 B_K)^2} \right], \quad (2.13)$$

де $\alpha = 1,1$ - коефіцієнт кінетичної енергії; $\varphi_{\text{II}} = 0,98 \dots 0,99$ - коефіцієнт швидкості потоку; B_K - ширина водобійного колодязя; h_H - глибина води у нижньому б'єфі при розрахунковій витраті (у курсовій роботі $Q = 0,5 Q_H$).

Зазначимо, що більш точно глибину води h_2 та глибину водобійного колодязя можна визначити користуючись рівнянням гідравлічного стрибка у руслі, що розширюється у плані (див. приклад 6.1 стор. 210-212 [1]).

Довжину водобійного колодязя (водобою) можна визначити за формулою

$$L_B = \beta_K \cdot l_C = \beta_K \cdot 16,7(h_K - h_1), \quad (2.14)$$

де $h_1 = h_{KH}$; h_K - критична глибина, що обчислена за формулою (2.10), β_K - коефіцієнт зменшення довжини гідравлічного стрибка ($\beta_K = 0,7 \dots 0,9$); l_C - довжина гідравлічного стрибка у прямокутному руслі зі сталою шириною дна.

Розрахунок довжини рисберми

Довжину кріплення за водобійним колодязем (довжину рисберми) можна визначити користуючись дослідженнями придонних максимальних швидкостей за гідравлічним стрибком. Використовуючи дослідження І.М.Бойка, дістанемо довжину рисберми при коефіцієнті $\beta_K = 0,9$ [1]:

$$L_p = 3,8h_H \left(1,2\sqrt{Fr_1} - 1\right)^{1/2}, \quad (2.15)$$

де $Fr_1 = (h_K/h_{KH})^3$ - число Фруда у перерізі потоку з глибиною $h_1 = h_{KH}$.

2.2. Гідравлічний розрахунок консольного перепаду (скиду)

Консольні перепади влаштовують як берегові водоскиди з водосховищ, аварійні та кінцеві водоскиди з великих каналів.

Виконуючи гідравлічні розрахунки консольні перепади умовно розділяють на такі частини: вхід, лоток перепаду, консоль, воронка розмиву, опора консолі (рис. 2.5)

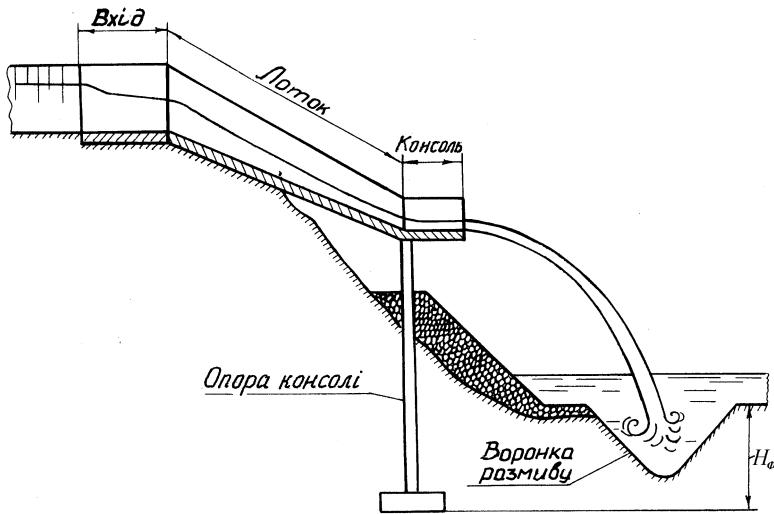


Рис.2.5. Схема консольного перепаду

Розрахунок входу консольного перепаду

Конструктивне виконання входу консольного перепаду і його гідравлічний розрахунок виконують так, як розрахунок і конструктивне виконання входів швидкотоків (див. § 2.1).

Розрахунок лотка консольного перепаду

Лотки консольних перепадів можуть бути конструктивно виконані такими самими, як і лотки швидкотоків. Тому гідравлічний розрахунок лотка консольного перепаду можна виконати тим же методом як і розрахунок лотка швидкотоку (див. § 2.1, рис. 2.3 та 2.6).

Загальна схема до гідравлічного розрахунку консольного перепаду зображена на рис. 2.6.

Розрахунок консолі

Довжину консолі беруть $l_K = 1...2 \text{ м}$, а її похил рівним нулю або зворотним (у курсовій роботі він заданий у табл. 2).

Консоль може бути зі сталою шириною дна або розширюватись (центральный кут розширення $8...10^\circ$).

Гідравлічний розрахунок консолі зводиться до визначення глибини води в кінці консолі h_{KC} (рис. 2.6). Оскільки довжина консолі незначна, то втратами напору (механічної енергії) на її довжині можна нехтувати і глибину води в кінці консолі h_{KC} можна визначити з рівняння зміни механічної енергії, тобто :

$$h_{KC} = \frac{Q}{b_{KC} \sqrt{2g(T_C - h_{KC} - i_K l_K)}} , \quad (2.16)$$

де b_{KC} - ширина консолі на її початку ($b_{KC} = B_B = b_L$ - ширина лотка);

T_C - питома енергія потоку на початку консолі

$$T_C = h_C + \frac{Q^2}{2g(b_{KC} \cdot h_C)^2} , \quad (2.17)$$

де $h_C = h_{KH}$ - глибина води у кінці лотка, тобто на початку консолі.

Рівняння (2.16) розв'язується способом наближень (див. пояснення розв'язування рівняння (2.8)). У першому наближенні під знаком радикала у рівнянні (2.16) можна взяти, що $h_{KC} = h_{KH}$ і за формулою (2.16) визначити h_{KC} .

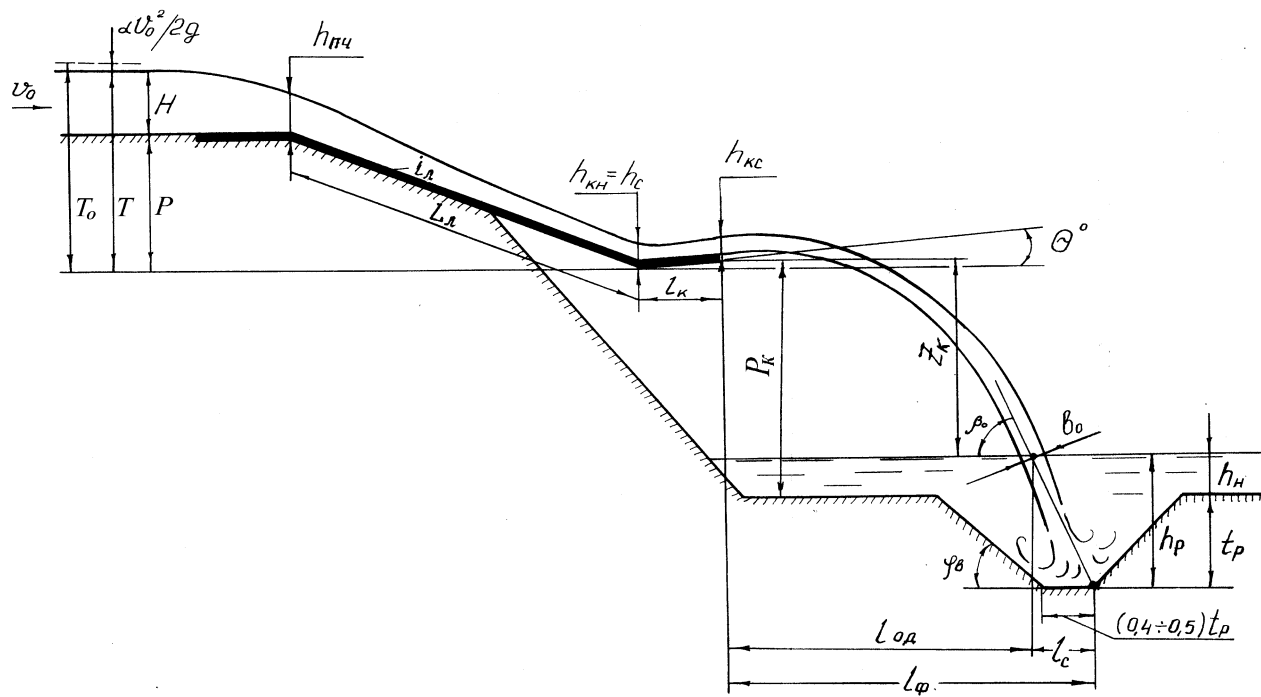


Рис.2.6. Схема до гідралічного розрахунку консольного перепаду

Розрахунок воронки розмиву

У результаті розрахунку потрібно визначити місце розташування фокуса розмиву воронки l_ϕ та її глибину t_p (рис. 2.6).

За дослідженнями С.Є. Ельясберга віддаль від кінця консолі до фокуса розмиву l_ϕ можна визначити за наступними залежностями:

$$l_\phi = l_{OD} + l_C, \quad (2.18)$$

$$l_{OD} = k_0 \cdot l_0, \quad (2.19)$$

$$k_0 = f(2gY/V_{KC}^2), \quad (2.20)$$

де $Y = Z_K + 0,5h_{KC}$; $V_{KC} = Q/\omega_{KC}$; $\omega_{KC} = b_{KC} \cdot h_{KC}$;
 b_{KC} - ширина дна консолі у її кінці.

Позначимо $A = 2gY/V_{KC}^2$. Тоді коефіцієнт k_0 визначаємо за такими залежностями:

якщо $A < 8$, то

$$k_0 = 0,54 + 0,37A^{0,12}, \quad (2.21)$$

коли $A > 8$, то

$$k_0 = 0,76 + 0,21A^{0,12}, \quad (2.22)$$

Довжина відльоту струменя у безповітряному просторі дорівнює:

$$l_0 = 2H_V \cdot \cos\theta \left(\sin\theta + \sqrt{\sin^2\theta + \frac{Z_K + 0,5h_{KC}}{H_V}} \right), \quad (2.23)$$

де θ - кут підйому кінці консолі (рис. 2.6); $H_V = V_{KC}^2/2g$; V_{KC} - швидкість потоку в кінці консолі.

Горизонтальна проекція поширення струменя у воді (рис. 2.6)

$$l_C = h_p / (1,69 \operatorname{tg} \beta_0 - 0,5), \quad (2.24)$$

h_p - найбільша глибина води у воронці (рис. 2.6);

β_0 - кут нахилу струменя на рівні поверхні води нижнього б'єфу (рис. 2.6):

$$\beta_0 = \arctg(V_Y / V_{KC}), \quad (2.25)$$

де

$$V_Y = \varphi_{II} \sqrt{2g(Z_K + h_{KC})}, \quad (2.26)$$

$\varphi_{\Pi} = 0,95$ - коефіцієнт, який враховує опір струменя у повітрі.

Швидкість, з якою подаючий струмінь входить у воду, визначаємо за формулою

$$V_{BX} = \sqrt{V_{KC}^2 + V_Y^2} \quad . \quad (2.27)$$

Для визначення глибини h_p , що використовується у формулі (2.24), скористаємось методикою О.Я.Кузнеця, яку представимо у наступній інтерпретації.

Глибина води у воронці розмиву

$$h_p = h_p' \cdot Z_0 \quad , \quad (2.28)$$

де Z_0 - повний гідравлічний перепад

$$Z_0 = Z_K + h_{KC} + \frac{V_{KC}^2}{2g} \quad , \quad (2.29)$$

h_p' - відносна глибина води у воронці

$$h_p' = f(V_{DP}' ; q') \quad , \quad (2.30)$$

де V_{DP}' - відносна донна швидкість у фокусі розмиву

$$V_{DP}' = V_{DP} / Z_0^{1/2} \quad , \quad (2.31)$$

V_{DP} - дійсна розмивальна швидкість на дні воронки

$$V_{DP} = V_{DM} / K_{\Pi} \quad , \quad (2.32)$$

$K_{\Pi} = 1,67$ - коефіцієнт макропульсації;

V_{DM} - донна максимальна швидкість

$$V_{DM} = (1 + f) \sqrt{2gd_p \left(\frac{\rho_{\Gamma} - \rho}{1,75} \right)} \quad , \quad (2.33)$$

де ρ_{Γ} ; ρ - відповідно, питома маса ґрунту та густина води;

f - коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту. Якщо діаметр частинок ґрунту $d_p > 5$ мм, то $f = 1,7$. У разі, коли $d_p = 3...50$ мм, то наближено

$$f = 0,80 + 0,019 \cdot d_p \quad , \quad (2.34)$$

де d_p - діаметр частинок ґрунту, мм.

q' - відносна питома витрата

$$q' = q/Z_0^{3/2}, \quad (2.35)$$

де $q = Q/b_{KC}$; b_{KC} - ширина дна кінця консолі.

Визначення відносної максимальної глибини води h'_p у воронці розмиву виконується за графіком (рис.2.7)

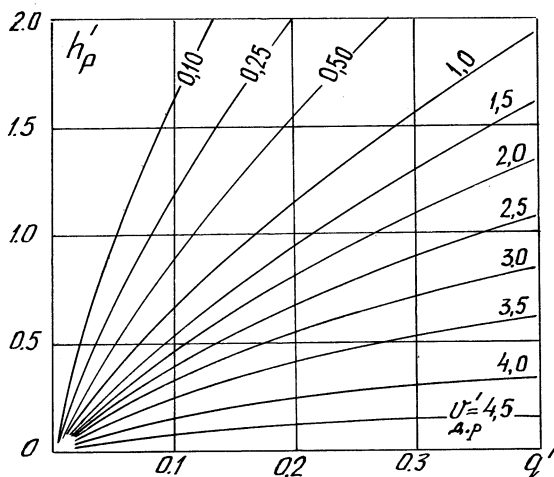


Рис. 2.7. Графік $h'_p = f(V'_{д.р}; q')$ для визначення максимальної відносної глибини води у воронці розмиву

Максимальна глибина розмиву воронки t_p дорівнює

$$t_p = h_p - h_H = h'_p \cdot Z_0 - h_H, \quad (2.36)$$

де h_H - глибина води у нижньому б'єфі консольного перепаду (рис.2.6).

За нашим аналізом [1] для визначення величини $V_{дм}$ за формулою (2.33) потрібно взятий діаметр $d_p = d_{80}$, значення якого знаходиться за графіком $d = f(P)$, схема, якого зображена на рис.2.8.

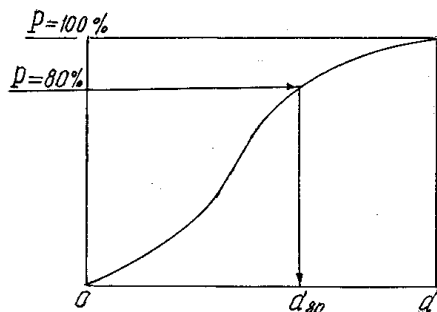


Рис.2.8. Схема графіка для визначення розрахункового діаметра частинок ґрунту у воронці розмиву

За нашими розрахунками при $d_p = d_{80}$ на поверхні воронки розмиву утвориться захисний шар, який складається з частинок $d_{max} = d_{100}$ та $d_p = d_{80}$.

2.3. Гідравлічний розрахунок багатосхідчастого перепаду колодезяного типу

При виконанні гідравлічних розрахунків багатосхідчастих перепадів у них виділяють такі основні частини (рис.2.9): вхід, спряжуюча частина, водобій, рисберма.

Вхід. Конструктивне виконання входу і його гідравлічний розрахунок виконують аналогічно розрахунку входу швидкоотуку (§ 2.1).

Спряжуюча частина

Гідравлічний розрахунок спряжуючої частини зводиться до визначення довжини східців (ступенів) l_{CT} рис.2.10, їх кількості, висоти стінок падіння p_C , їх кількості n висоти водобійних стінок на східцях, які забезпечують утворення на них затоплених гідравлічних стрибків.

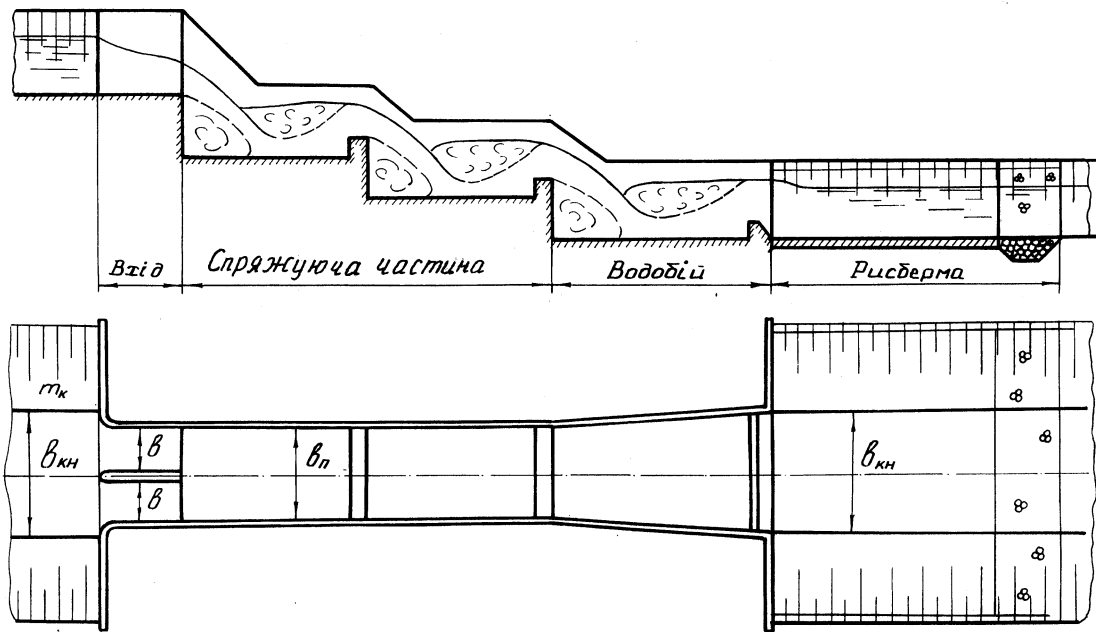


Рис.2.9. Схема багатосхідчастого перепаду колодезного типу

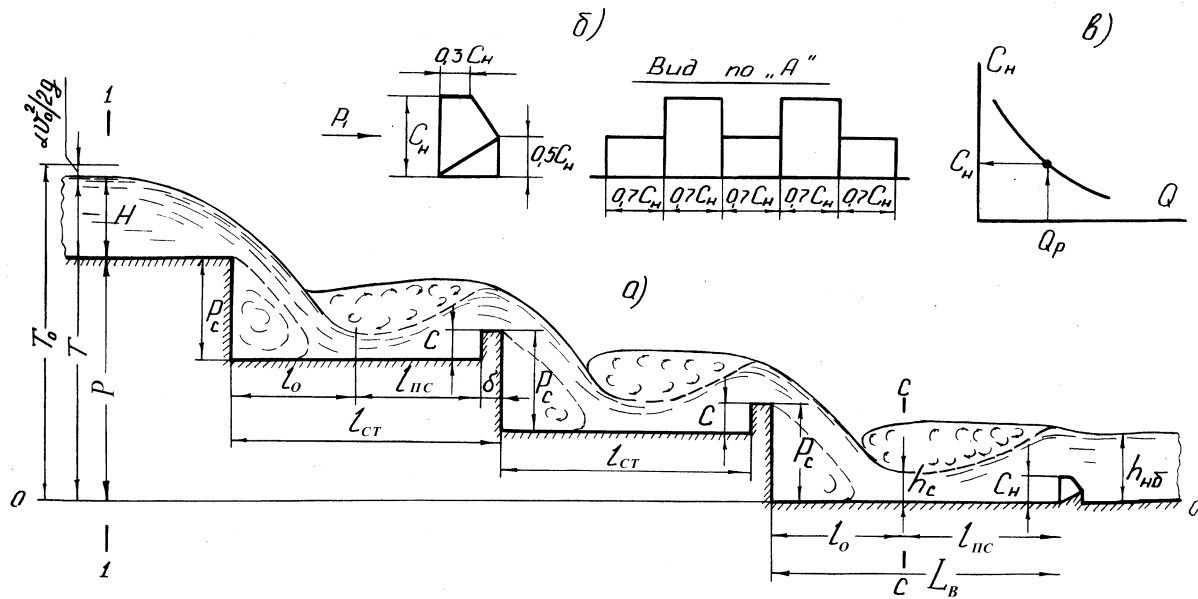


Рис.2.10. Багатосхідчастий перепад: а - схема до гідралічного розрахунку;
 б - схема прорізної водобійної стінки; в - графік $C_H = f(Q)$

Розглянемо гідравлічний розрахунок спряжуючої частини, який базується на урахуванні величини погашеної механічної енергії на всіх східцях [1]. Використовуючи цей спосіб, всі необхідні розміри східців будуть однаковими, тобто: $l_{CT} = const$; $p_C = const$; $C = const$.

Розрахунок виконуємо у такій послідовності:

1. Ширину спряжуючої частини беремо рівною ширині входу, тобто $B_{\Pi} = B_B$, де B_B - будівельна ширина входу визначається за формулою (2.7).
2. Визначаємо критичну глибину потоку на східцях

$$h_K = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB_{\Pi}^2}}. \quad (2.37)$$

3. Розраховуємо кількість стінок падіння n

$$1,25h_K \leq P/n \leq 4 \text{ м}, \quad (2.38)$$

де P - загальний перепад; n - кількість стінок падіння (на рис.2.10 $n=3$).

4. Визначаємо стиснену глибину h_C у перерізі $C-C$ (рис.2.10)

$$h_C = \frac{Q}{\varphi_C B_{\Pi} \sqrt{2n(T_0 - h_C)}}. \quad (2.39)$$

де φ_C - коефіцієнт, який враховує величину погашеної енергії на спряжуючій частині між перерізами 1-1 і $C-C$ (рис.2.10). Якщо на східцях влаштовують суцільні водобійні стінки, то коефіцієнт φ_C обчислюємо за формулою

$$\varphi_C = 0,456 - 0,009n + (1,05 - 0,105\sqrt{n}) \frac{h_K}{P}. \quad (2.40)$$

де h_K - визначається за формулою (2.37); P - загальний перепад (рис.2.10).

5. Обчислюємо другу спряжену глибину стрибка

$$h_2 = \frac{1}{2} h_C \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_K}{h_C} \right)^3} - 1 \right). \quad (2.41)$$

6. Визначаємо довжину підпертого стрибка на східцях

$$l_{\text{ПС}} = (2,5 \dots 3) h_2, \quad (2.42)$$

7. Визначаємо висоту суцільних водобійних стінок на східцях

$$C = 0,60 \sqrt{p_0 \cdot h_K}, \quad (2.43)$$

де $p_0 = P/n$; n - кількість стінок падіння (рис.2.10 $n=3$).

8. Обчислюємо висоту стінок падіння

$$p_C = p_0 + \left(1 - \frac{1}{n}\right) C. \quad (2.44)$$

9. Розраховуємо довжину відльоту струменя від стінки падіння

$$l_0 = 1,65 h_K + 0,7 p_C + 1,5 h_C. \quad (2.45)$$

10. Призначаємо довжину східців

$$l_{\text{СТ}} = l_0 + l_{\text{ПС}} + 0,7 C. \quad (2.46)$$

У результаті виконаних розрахунків отримуємо $l_{\text{СТ}} = \text{const}$; $p_C = \text{const}$; $C = \text{const}$.

Розрахунок водобою

У результаті розрахунку потрібно визначити довжину водобою L_B і розміри гасителя енергії на водобойі (у кінці водобою).

Довжина водобою

$$L_B = l_0 + l_{\text{ПС}}, \quad (2.47)$$

де l_0 - обчислюється за формулою (2.45); $l_{\text{ПС}}$ - довжина підпертого стрибка на водобойі

$$l_{\text{ПС}} = 3,5 h_2, \quad (2.48)$$

h_2 - друга спряжена глибина стрибка, що обчислена за формулою (2.41).

Дно водобою, здебільшого, розширюється від ширини $B_{\text{П}}$ до ширини дна каналу нижнього б'єфу $b_{\text{КН}}$. У курсовій роботі для визначення форми спряження б'єфів можна взяти, що ширина водобою є сталою і дорівнює $B_B = B_{\text{П}}$. Тоді для визначення форми спряження б'єфів порівнюємо глибину h_2 з глибиною води в нижньому б'єфі h_H .

Якщо $h_2 < h_H$, то стрибок затоплений, коли $h_2 > h_H$, то стрибок відігнаний і у нижньому б'єфі потрібно визначити висотні розміри гасителя енергії.

У нижньому б'єфі можна запроектувати прорізну водобійну стінку, схема якої зображена на рис.2.10, б.

Висота такої водобійної стінки розраховується за формулами:

$$C_H = \sigma_3 h_3 - H_{CT}, \quad (2.49)$$

де $\sigma_3 = 1,05$ - коефіцієнт затоплення стрибка; H_{CT} - напір на водобійній стінці

$$H_{CT} = H_{3B} - 0,25C_H. \quad (2.50)$$

H_{3B} - зведений напір

$$H_{3B} = \left(\frac{Q_P}{\sigma_{II} \cdot m_C \cdot B_{CT} \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (2.51)$$

$B_{CT} = B_{II}$ - довжина водобійної стінки; σ_{II} - коефіцієнт підтоплення стінки

$$\sigma_{II} = 0,45 + 0,79 \sqrt{0,49 - \left(\frac{h_{3B}}{H_{3B}} - 0,3 \right)^2}, \quad (2.52)$$

h_{3B} - зведена глибина підтоплення стінки

$$h_{3B} = h_H - 0,75C_H, \quad (2.53)$$

m_C - коефіцієнт витрати водобійної стінки

$$m_C = 0,45 + 0,06 \frac{H_{3B}}{C_H}. \quad (2.54)$$

Формулу (2.52) можна використовувати при $0,3 < h_{3B}/H_{3B} < 1$, а формулу (2.54) при $0,4 \leq H_{3B}/C_H \leq 2$.

Якщо $h_{3B}/H_{3B} \leq 0,3$, то $\sigma_{II} = 1$, коли $H_{3B}/C_H > 2$, то $m_C = 0,60$.

Оскільки висота стінки C_H невідома, то розрахунок виконується графоаналітичним способом.

Схема такого розрахунку наведена у табл.2.1.

Таблиця 2.1.

Схема розрахунку висоти прорізної водобійної стінки
(рис.2.10).

$C_H, \text{м}$	$H_{CT}, \text{м}$	$H_{3B}, \text{м}$	$h_{3B}, \text{м}$	δ_{II}	m_C	$Q, \text{м}^3/\text{с}$
C_{H1}						$Q_1 > Q_P$
C_{H2}						$Q_2 > Q_P$
C_{H3}						$Q_3 < Q_P$

У табл.2.1. Q_1, Q_2, Q_3 визначаються за формулою

$$Q = \sigma_{II} m_C B_{CT} \sqrt{2g} H_{3B}^{3/2}; \quad (2.55)$$

Q_P - розрахункова витрата. У курсовій роботі $Q_P = 0,5Q_H$; Q_H - витрата дериваційного каналу.

Для визначення висоти водобійної стінки за даними табл.2.1 будується графік $C_H = f(Q)$ (рис.2.10,в), за допомогою якого знаходять необхідну висоту стінки C_H .

Розрахунок рисберми

У разі, коли у нижньому б'єфі перепаду запроектована прорізна водобійна стінка (рис.2.10,б), або суцільна стінка, то довжину рисберми можна призначити за формулою

$$l_P = (10...12)h_H, \quad (2.56)$$

де h_H - глибина води у каналі нижнього б'єфу при розрахунковій витраті, тобто тій витраті, на яку розраховано вхід перепаду.

Залежність (2.54) відповідає наступним параметрам: число Фруда $Fr_C = (h_K/h_C)^3 = 5...20$, максимальні придонні швидкості у кінці рисберми $V_{DM} = (1,15...1,20)V$; V - середні швидкості потоку при розрахунковій витраті, коефіцієнт закладення укосів каналу $m_{KH} = 1,5...2,5$; відносна ширина дна каналу $b_{KH}/B_{II} = 1,2...2$; B_{II} - ширина водобоя у перерізі з глибиною h_C (рис.2.10); відносна

ширина поверхні води в каналі $B_{KH}/h_H = 3...10$;
 $(B_{KH} = b_{KH} + 2m_{KH}h_H)$.

Варіант конструкції водобою і рисберми нижнього б'єфу перепаду зображено на рис.2.11.

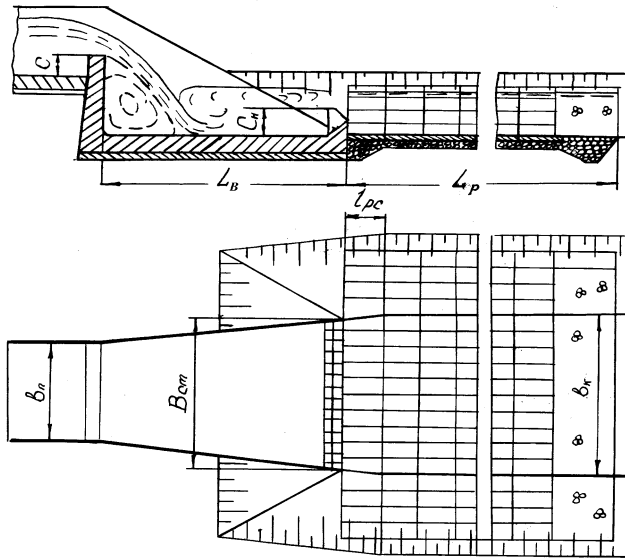


Рис.2.11. Варіант конструкції нижнього б'єфу перепаду

Додатково до пояснень, що наведені у запропонованих методичних вказівках, можна використати § 6.5 стор.202-207 та приклад 6.2 стор.214...218 підручника [1].

2.4. Гідравлічний розрахунок водозливної греблі

Водозливні греблі, збудовані на ріках, виконують роль водопідпірних та водоскидних споруд на водосховищах.

У випадках, коли на ріках проходять меженні (мінімальні) витрати водозливна гребля стає підпірною спорудою, а частина витрат річки проходить через турбіни гідроелектростанції.

У разі повеней значна частина витрат річки скидається через водозливну греблю.

У більшості випадків для водозливних гребень приймають безвакуумні водозливи криволінійного поперечного перерізу [1,3,4,5].

Ширину водозливу визначають на пропуск максимальної витрати при повністю піднятих затворах (якщо вони передбачені на водозливній греблі) і допустимій величині питомої витрати на рисбермі q_p .

Розрахунок водопропускної здатності греблі

Схема до гідравлічного розрахунку водозливної греблі зображена на рис.2.12.

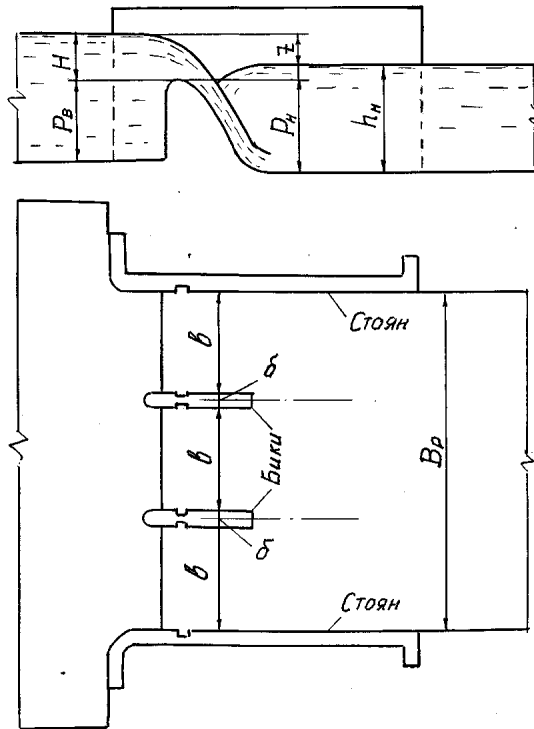


Рис.2.12. Схема до гідравлічного розрахунку водозливної греблі

Витрата через водозливну греблю, при повністю піднятих затворах, визначається за формулою

$$Q = \sigma_{II} \cdot m \cdot \varepsilon \cdot B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (2.57)$$

де σ_{II} - коефіцієнт підтоплення водозливу, величину якого наближено можна визначити за формулою І.І.Науменка [1]

$$\sigma_{II} = \sqrt{1 - \left(1,8 \frac{h_{II}}{H_0} - 0,8\right)^2}, \quad (2.58)$$

або більш точно за формулою Г.К.Дерюгіна [1,5]

$$\sigma_{II} = \sqrt{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{h_{II}}{H_0}\right) \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{m}{0,59}\right)^{0,4}}\right]^2}. \quad (2.59)$$

Формулу (2.58) можна використовувати при $h_{II}/H_0 > 0,4$. Якщо $h_{II}/H_0 \leq 0,4$, то $\sigma_{II} = 1$.

Формула (2.59) використовується при $h_{II}/H_0 > 0,35$. Коли $h_{II}/H_0 \leq 0,35$, то $\sigma_{II} = 1$.

h_{II} - глибина підтоплення водозливу

$$h_{II} = h_H - P_H, \quad (2.60)$$

де h_H , P_H - глибина води та висота водозливу збоку нижнього б'єфу (рис.2.12.).

Водозлив буде підтопленим при виконанні двох умов:

$$\left. \begin{aligned} h_{II} &> 0 \\ \left(\frac{Z}{P_H}\right) &< \left(\frac{Z}{P_H}\right)_{KP} \end{aligned} \right\}, \quad (2.61)$$

де Z - гідравлічний перепад (рис.2.12); $(Z/P_H)_{KP}$ - відносний критичний перепад є функцією $(Z/P_H)_{KP} = f(H/P_H)$; (величину $(Z/P_H)_{KP}$ можна визначити за графіком рис.3.8 стор.77 [1]).

m - коефіцієнт витрати водозливу

$$m = \sigma_{\phi} \cdot \sigma_H \cdot m_{\phi}, \quad (2.62)$$

σ_ϕ - коефіцієнт, що враховує форму водозливу (див. стор. 85, рис. 3.16, табл. 3.2 [1];

σ_H - коефіцієнт повноти напору, який враховує зміну пропускної здатності водозливу при напорах H та $H_{\text{пр}}$; $H_{\text{пр}}$ - профілюючий (проектний) напір, тобто той напір, за яким будують водозливну поверхню водозливу. Величину σ_H для основного профілю водозливу (рис. 3.16 стор. 85 [1]) можна визначити за формулою

$$\sigma_H = 0,62 + 0,38 \sqrt[3]{H/H_{\text{пр}}} \quad (2.63)$$

m_ϕ - коефіцієнт витрати основної вихідної форми водозливу (рис. 3.14 стор. 84 [1] тип А). Якщо висота водозливу типу А $P_B \geq 3H_{\text{пр}}$, то коефіцієнт $m_\phi = 0,504$.

У разі, коли $0,15 < P_B/H_{\text{пр}} < 3$, то коефіцієнт

$$m_\phi = 0,504 - 0,012(H_{\text{пр}}/P_B) \quad (2.64)$$

ε - коефіцієнт, що враховує зменшення пропускної здатності водозливу за рахунок бокового стиснення потоку на водозливі [1, 3, 4, 5]

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\varepsilon_{CT} + (n-1)\varepsilon_B}{n} \cdot \frac{H_0}{b} \quad (2.65)$$

де n - кількість водозливних отворів (прогонів), наприклад, на рис. 2.12 $n = 3$;

ε_{CT} , ε_B - коефіцієнт, що враховує форму напірних граней стоянів і биків (рис. 2.13 див. також рис. 3.16, 3.17 стор. 87, 88 [1]);

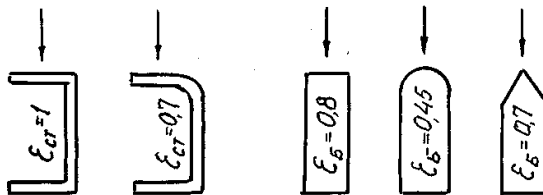


Рис. 2.13. Схема стоянів та биків

H_0 - повний напір

$$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}, \quad (2.66)$$

H - геометричний напір на водозливні (рис.2.12);

V_0 - швидкість, з якою потік підходить до водозливної греблі (якщо $V_0 < 1$ м/с, то величиною $V_0^2/2g$ можна нехтувати, тобто $H_0 = H$).

Ширину одного отвору (прогону) водозливної греблі приймають у межах:

$$b = (2...3)H_{max}, \quad (2.67)$$

де H_{max} - напір, що відповідає пропускну витрату Q_{max} .

Загальна довжина водозливного фронту греблі

$$B = n \cdot b. \quad (2.68)$$

Ширина отворів (прогонів) водозливних гребель нормується таким чином: $b = 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24$ м.

Повна ширина водозливної греблі

$$B_r = B + (n-1)\delta = n \cdot b + (n-1)\delta, \quad (2.69)$$

де δ - товщина бика приблизно приймається в межах:

$$\delta = (0,2...0,25)b. \quad (2.70)$$

Зазвичай розрахунок пропускної здатності водозливної греблі виконують способом послідовних наближень.

Розглянемо приклад проектування геометричних параметрів водозливної греблі, який подібний до завдання курсової роботи.

Дано: витрата Q_{max} ; витрата рисберми q_p ; висота греблі зі сторони нижнього б'фу P_H ; русло річки в нижньому б'єфі параболічне з параметром параболи P ; похил дна річки i_p ; коефіцієнт шорсткості русла ріки n .

Визначити ширину водозливного фронту греблі B , кількість прогонів (отворів) n , ширину кожного прогону b , повну довжину греблі B_r , напори H_{max} та $H_{пр}$.

Хід розрахунків

Перше наближення:

1. Будуємо графік $Q = f(h_H)$ для русла річки у нижньому б'єфі. Для цього використовуємо формули (1.1), (1.9), для яких площу живого перерізу і змочений периметр визначаємо за формулами:

$$\omega = \frac{3}{4} h \sqrt{2ph} \quad , \quad (2.71)$$

$$\chi = P \left[\sqrt{2 \frac{h}{P} \left(1 + 2 \frac{h}{P} \right)} + \ln \left(\sqrt{2 \frac{h}{P}} + \sqrt{1 + 2 \frac{h}{P}} \right) \right] \quad , \quad (2.72)$$

де h - глибина води; P - параметр параболи.

Всі розрахунки зводимо у табл.2.2.

Таблиця 2.2.

Розрахункові дані до побудови залежності $Q = f(h)$ для русла річки у нижньому б'єфі водозливної греблі

$h, м$	$\omega, м^2$	$\chi, м$	$R, м$	C	$Q = \omega C \sqrt{R i_P}$
h_1					Q_1
h_n					$Q_n \geq Q_{MAX}$

За даними, що наведені у табл.2.2. будуємо графік рис.2.14.

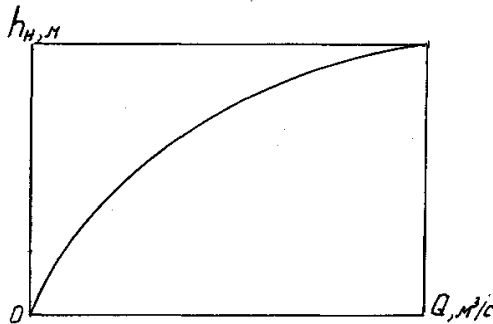


Рис.2.14. Графік $Q = f(h_H)$ для русла річки у нижньому б'єфі водозливної греблі

2. Призначаємо питому витрату на водозливів $q_B = 1,2q_P$ (q_P - питома витрата на рисбермі) і визначаємо у першому наближенні довжину водозливного фронту греблі

$$B_1 = Q_{MAX} / q_B = Q_{MAX} / (1,2q_P), \quad (2.73)$$

3. Приймаємо добуток коефіцієнтів $\varepsilon \cdot m = 0,49$, коефіцієнт підтоплення $\sigma_{II} = 1$ і використовуючи формулу (2.57), визначаємо напір на водозливів:

$$H_{MAX} = H_1 = \left(\frac{Q_{MAX}}{\varepsilon m B_1 \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{1,2q_P}{0,49\sqrt{2g}} \right)^{2/3}; \quad (2.74)$$

4. За формулою (2.67) призначаємо ширину кожного прогону

$$b_1 = (2...3)H_1, \quad (2.75)$$

5. Визначаємо кількість прогонів

$$n = B_1 / b_1, \quad (2.76)$$

6. Маючи кількість прогонів, (n - ціле число) уточнюємо, за стандартним рядом, ширину одного прогону $b = B_1 / n$ (значення b беремо зі стандартного ряду).

Друге наближення:

1. Маючи значення n і b , обчислюємо загальну довжину водозливного фронту греблі

$$B = n \cdot b, \quad (2.77)$$

2. Призначаємо форму напірних граней стоянів та биків, визначаємо коефіцієнти ε_{CT} , ε_B і за формулою (2.65) визначаємо коефіцієнт

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\varepsilon_{CT} + (n+1)}{n} \cdot \frac{H_1}{b}; \quad (2.78)$$

3. Використовуючи формули (2.62) – (2.64), уточнюємо коефіцієнт витрати m (у розрахунках можна взяти, що $H_{II} \approx H_1$, наприклад, якщо $H_1 = 3,15$ м, то $H_{II} = 3$ м або $H_{II} = 3,2$ м); (H_1 - визначається за формулою (2.74)).
4. Використовуючи формули (2.60) – (2.62), за формулою (2.58) або (2.59) визначаємо коефіцієнт підтоплення водозливу (у розрахунках можна взяти, що $H_0 = H_1$).

5. Маючи значення параметрів σ_{II} , ε , m , B , Q_{MAX} за формулою (2.57) уточнюємо напір на гребені водозливу

$$H_{MAX} = \left(\frac{Q_{MAX}}{\sigma_{II} \varepsilon m B \sqrt{2g}} \right)^{2/3}. \quad (2.79)$$

У разі, коли H_{MAX} , що визначений за формулою (2.79), відрізняється від H_1 не більше, ніж на 5 %, то третього наближення не робимо.

Розрахунок спряження б'єфів за водозливною греблею

При розрахунку спряження б'єфів за водозливною греблею розв'язують задачу про спряження б'єфів, яка включає наступні питання:

1. Визначення режимів (форм) спряження б'єфів.
2. Знаходження найбільш не вигідного випадку спряження при визначених режимах.
3. Вибір конструкції і розмірів гасителів енергії.
4. Визначення сил (швидкостей, тиску), що діють на кріплення нижнього б'єфу.
5. Вибір конструкції і визначення розмірів (довжини, товщини) кріплення нижнього б'єфу.

У курсовій роботі розрахунок спряження б'єфів виконуємо при пропуску кількох витрат через греблю та повністю піднятих затворах.

Послідовність розрахунків можна прийняти наступною:

1. Задаємось напорами $H_1 = H_{MAX}$; $H_2 = 0,8H_1$; $H_3 = 0,6H_1$; $H_4 = 0,4H_1$; $H_5 = 0,3H_1$.
2. За формулами (2.62), (2.65) обчислюємо коефіцієнти m та ε . Приймаємо, що $H_i = H_{0i}$. Якщо при $Q = Q_{MAX}$ $h_H < P_H$, то коефіцієнт підтоплення водозливу $\sigma_{II} = 1$ і витрати через водозлив визначаємо за формулою

$$Q = \varepsilon m B \sqrt{2g} H^{2/3}. \quad (2.80)$$

3. Визначаємо глибини води h_c у стисненому перерізі на водобі (рис.2.15).

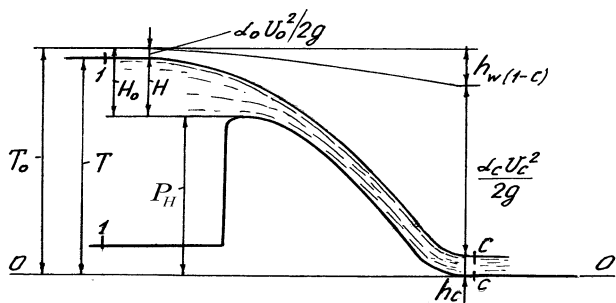


Рис.2.15. Схема до визначення глибини потоку h_c за водозливом

$$h_c = \frac{Q}{\varphi_c B \sqrt{2g(T - h_c)}} \quad , \quad (2.81)$$

де φ_c - коефіцієнт швидкості, що враховує втрати механічної енергії потоку на водозливі можна визначити за формулою [1]:

$$\varphi_c = 0,97 + 0,19 \lg(H/P_H) \quad . \quad (2.82)$$

4. Визначаємо критичні глибини при витратах Q_i

$$h_K = \left[Q^2 / (gB^2) \right]^{\frac{1}{3}} \quad . \quad (2.83)$$

5. Приймаємо, що перша спряжена глибина стрибка h_1 , при кожній витраті дорівнює глибині h_c , і визначаємо другу спряжену глибину стрибка

$$h_2 = \frac{1}{2} h_1 \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_K}{h_1} \right)^3} - 1 \right) \quad . \quad (2.84)$$

6. Маючи витрати Q_i , що визначені за формулою (2.80), з графіка $Q = f(h_H)$ рис.2.14 знаходимо глибини води h_H і порівнюємо їх з глибинами h_2 . Якщо при всіх витратах маємо $h_2 < h_H$, то спряження б'єсів відбувається за схемою затопленого гідравлічного стрибка і для зменшення

довжини кріплення можна запроектувати прорізну водобійну стінку висотою [1]

$$C = (1 \dots 1,2) h_1, \quad (2.85)$$

де h_1 - перша спряжена глибина гідравлічного стрибка, що відповідає витраті Q_{max} .

У разі, коли маємо $h_2 > h_H$, то висоту водобійної стінки або колодязя визначаємо для витрати при Δh_{2max} , тобто

$$\Delta h_{2max} = h_2 - h_H. \quad (2.86)$$

Результати пошуку розрахункових витрат для визначення розмірів гасителя енергії зводимо у табл.2.3.

Таблиця 2.3.

Результати розрахунків глибин h_2 та h_H
у нижньому б'єфі водозливної греблі

H, m	σ_H	m	ε	Q	φ_C	h_K	h_2	h_H	$\Delta h_2 = h_2 - h_H$
H_1									
$\cdot$									
$\cdot$									
$\cdot$									
H_5									

Для пошуку розрахункової витрати за даними табл.2.3 можна побудувати графік $\Delta h_2 = f(Q)$, з якого знаходимо витрату Q_P , що відповідає Δh_{2max} .

У разі, коли у нижньому б'єфі проектують суцільну водобійну стінку (рис.2.16), то її висоту можна визначити за формулами:

У відповідності з рис.2.16,а висота стінки

$$C = \sigma_3 h_2 - H_C \quad (2.87)$$

де $\sigma_3 = 1,05$ - коефіцієнт затоплення гідравлічного стрибка, h_2 - друга спряжена глибина стрибка при витраті Q_P , що відповідає Δh_{2max} ; H_C - напір над водобійною стінкою

$$H_C = \left(\frac{Q_p}{\sigma_{II} m_C B_{CT} \sqrt{2g}} \right)^{2/3}, \quad (2.88)$$

де B_{CT} - довжина водобійної стінки дорівнює ширині рисберми B_p , тобто $B_p = B_{CT}$, де B_{CT} - довжина водозливної греблі (див. формулу (2.69)).

σ_{II} - коефіцієнт підтоплення водобійної стінки з боку нижнього б'єфу визначаємо за формулою [1]

$$\sigma_{II} = \sqrt{1 - \left(1,8 \frac{h_{II}}{H_C} - 0,8 \right)^2}, \quad (2.89)$$

де $h_{II} = h_H - C$ - глибина підтоплення стінки.

Якщо $h_{II}/C \leq 0,4$, то $\sigma_{II} = 1$;

m_C - коефіцієнт витрати водобійної стінки можна призначити за формулою Р.Р.Чугаєва

$$m_C = 0,402 + 0,54 H_C / C, \quad (2.90)$$

Формулу (2.90) можна використати при $H_C \geq 0,1$ м і $C > 0,5 H_C$.

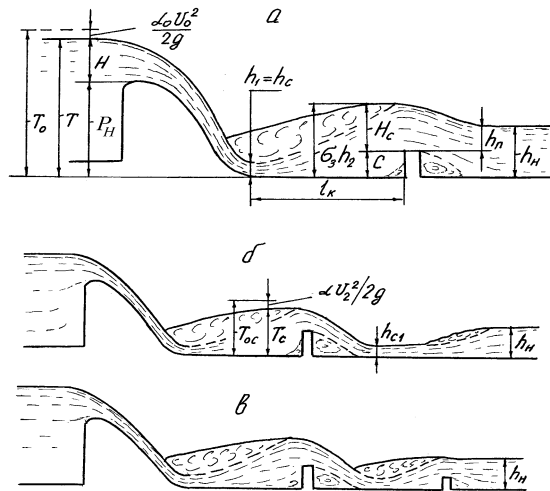


Рис.2.16. Схема до розрахунку водобійних стінок

Визначення висоти водобійної стінки виконується способом наближень.

Результати розрахунків зводяться у табл.2.4.

Таблиця 2.4.
Результати розрахунків суцільної водобійної стінки

C	$H_c = \sigma_3 h_2 - C$	$h_{II} = h_H - C$	σ_H	m_C	Q
C_1					$Q_1 < Q_P$
C_2					$Q_2 < Q_P$
C_3					$Q_3 > Q_P$

У табл.2.4 витрата Q визначається з формули (2.88).

За даними табл.2.4 будується графік $C = f(Q)$ рис.2.17, за допомогою якого визначають висоту водобійної стінки.

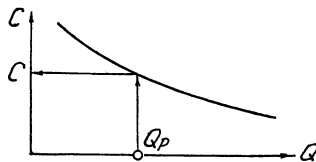


Рис.2.17. Схема графіка для визначення висоти водобійної стінки

Якщо у нижньому б'єфі водозливної греблі висота стінки отримана великою ($C > 2$ м), то за нею може утворитись знову відігнаний гідралічний стрибок. Тому, потрібно розрахувати висоту другої водобійної стінки (див.рис.2.16,б та розрахунок стор.153, 154 [1]). При проектуванні двох водобійних стінок збільшується загальна довжина ділянки спряження б'єфів. Для зменшення довжина ділянки спряження б'єфів замість двох водобійних стінок доцільно запроектувати водобійний колодезь. Глибину водобійного колодезя можна визначити за формулою (2.12).

Довжина водобійного колодезя, утвореного водобійним уступом, або водобійною стінкою визначається за формулою

$$l_K = \beta \cdot l_C, \quad (2.91)$$

де β - коефіцієнт зменшення (підпертості) гідравлічного стрибка
 $\beta = 0,7 \dots 0,9$;

l_C - довжина досконалого гідравлічного стрибка, яку можна визначити за формулою С.К.Кузнецова

$$l_C = 16,7(h_K - h_1). \quad (2.92)$$

де h_K - критична глибина; h_1 - перша спряжена глибина гідравлічного стрибка.

Розрахунок довжини кріплення за гасителем (довжина рисберми)

Зазвичай довжину рисберми закінчують у перерізі потоку, де придонні максимальні швидкості дорівнюють $V_{Д.М} = (1,2 \dots 1,25)V_C$ (V_C - середня у перерізі швидкість потоку).

Використовуючи дослідження С.К.Кузнецова, довжину рисберми за водобійними колодязями можна визначити за формулою:

$$L_P = (12 \dots 13) h_H \left(\frac{V_K - 1,2V_C}{V_K - 0,85V_C} \right)^{2,38}, \quad (2.93)$$

де $V_K = Q_P / (B_P \cdot h_K)$; $V_C = Q_P / (B_P \cdot h_H)$, де B_P - ширина рисберми, h_K - критична глибина.

Використовуючи дослідження придонних швидкостей $V_{Д.М}$ за водобійними колодязями І.М.Бойка, для визначення довжини рисберми можна запропонувати залежність [1]:

$$L_P = 3,8 h_H \left(10 \Pi_\beta \sqrt{Fr_1} - 1 \right)^{1/2}, \quad (2.94)$$

де Π_β - параметр, який залежить від коефіцієнта $\beta = l_K / l_C$ (див. формулу (2.91)) і визначається за формулою

$$\Pi_\beta = 0,588 - 0,88\beta + 0,4\beta^2. \quad (2.95)$$

Схеми конструкції довжини кріплення (ділянки спряження б'їв) за водозливом без гасителя та з гасителем зображені на рис.2.18.

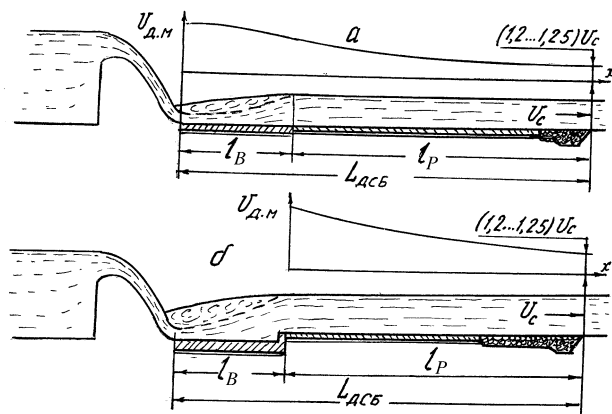


Рис.2.18. Схеми конструкцій довжина ділянки спряження за водозливом: *а* - без гасителя; *б* - з водобійним колодязем

Розрахунок довжини та конструкції кріплення ділянки спряження б'єфів з урахуванням показників надійності наведено в [1, 6].

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В. 2.4–1–99 Меліоративні системи та споруди. К. : Держбуд України, 1999. 112 с.
2. Рогалевич Ю. П. Гідравліка : підручник. К. : Вища школа, 2010. 431 с.
2. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 475 с.
3. Науменко І. І. Гідравліка : підручник. Рівне : Видавництво РДТУ, 2001. 528 с.
4. Науменко І. І. Оцінки надійності водогосподарських об'єктів : монографія. Рівне : НУВГП, 2007. 180 с.

ЗАВДАННЯ

для виконання курсової роботи

Кожний студент виконує гідравлічні розрахунки дериваційного та скидного каналу на рівномірний рух; розрахунки одної спряжуючої споруди типу швидкотоку, консольного перепаду або східчастого перепаду і розрахунки водозливної греблі.

Тип спряжуючої споруди студент вибирає з таблиці 1. Решта вихідних даних наведена в табл.2-4.

1. Шлюз-регулятор, призначений для забору заданої витрати в межах $0 \leq Q \leq Q_H$.
2. Водозливна гребля призначена для пропуску розрахункових витрат з водосховища.
3. Дериваційний канал призначений для транспортування води на ГЕС.
4. Скидний канал, призначений для скидання води, щоб не допустити його переповнення.
5. Спряжуючі споруди (швидкотік, консольний скид, перепад), призначені для спряження б'єфів на ділянці різкого падіння траси скидного каналу.
6. Підпірна споруда в кінці дериваційного каналу для забору води на ГЕС.

ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ

Студент вибирає вихідні дані для виконання курсової роботи з таблиць 1 – 4 за двома останніми цифрами номера залікової книжки або за двома цифрами списку складеного викладачем.

Наприклад: у студента дві останні цифри залікової книжки 13.

Згідно з цими цифрами дані для виконання курсової роботи будуть такими:

Розділ 1.

1.1. Витрата в магістральному каналі $Q_H = 55 \text{ м}^3/\text{с}$.

Похил дна каналу $i = 0,15\text{‰} = 0,00015$ (див.табл.1).

Питоме зчеплення ґрунту, в якому проходить канал $C = 0,07$ МПа (див.табл.2 за останньою цифрою номера залікової книжки).

Мутність потоку $\rho_H = 1,2$ кг/м³.

Питома маса ґрунту $\rho_r = 2,78$ т/м³.

Механічний склад наносів за фракціями (табл.3):

Механічний склад наносів по фракціям d , мм	Вміст фракцій в %
0,5-0,25	8
0,25-0,1	12
0,1-0,05	40
0,05-0,02	20
0,02-0,01	20

1.2. Витрата скидного каналу $Q = \frac{Q}{2} = \frac{55}{2} = 27,5$ м³/с.

Середній діаметр частинок ґрунту, в якому проходить скидний канал $d_p = 2$ мм (табл.2).

Розділ 2.

2.1. Тип спрягаючої споруди III - швидкотік.

Перепад місцевості між дном верхнього і нижнього б'єфів швидкоотоку $P = 15$ м.

Похил лотка швидкоотоку $i_d = 17\% = 0,17$.

2.2. Розрахунок водозливної греблі

Питома витрата на рисбермі $q = 12,0$ (м³/с)м.

Максимальна витрата через греблю $Q_{max} = 950$ м³/с..

Висота водозливу з боку нижнього б'єфу $P_H = 10$ м.

Параметр параболи русла ріки $p = 170$ м.

Похил дна русла ріки в районі греблі

$i_p = 0,25\%_o = 0,00025$.

У випадку, коли спрягаючи споруда буде перепад (П), то відсутній буде похил i_d , коли буде консольний скид (КС), то потрібно додатково взяти: різницю відміток кінця консолі і поверхні води нижнього б'єфу Z_k , а також похил носка консолі i_k (табл.2) та механічний склад ґрунту (табл.3).

З М І С Т

розрахунків та необхідні вихідні дані для їх виконання

Розділ 1. Гідравлічний розрахунок відкритих русел.

1.1. Розрахунок дериваційного каналу на рівномірний рух

Дано: Витрата Q_H , похил дна каналу i , розрахункове зчеплення ґрунту C , мутність потоку ρ_M , механічний склад мутності, питома маса ґрунту ρ_Γ .

Склад розрахунку:

1. Визначити параметри поперечного перерізу трапецеїдального каналу, - ширину дна b , глибину води h , коефіцієнт закладення укосів m , будівельну глибину H_B .

2. Побудувати графіки $Q = f_1(h)$; $V = f_2(h)$, а також уточнити

за графіком глибину наповнення каналу h_0 і дійсну середню

швидкість потоку V .

3. Виконати перевірку каналу на розмив і замулення.

4. Накреслити в масштабі поперечний переріз каналу.

1.2. Розрахунок скидного каналу на рівномірний рух

Дано: Розрахункова витрата $Q = 0,5Q_H$ середній діаметр частинок ґрунту, що складає русло каналу d_p , питома маса ґрунту ρ_Γ .

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину дна каналу b і глибину води h , виходячи з раціонального співвідношення $\beta = b/h$ і допустимої нерозмиваючої швидкості.

2. Визначити необхідний похил каналу i .

3. Накреслити в масштабі поперечний переріз каналу.

Розділ 2. Гідравлічний розрахунок гідротехнічних споруд

2.1. Розрахунок водозливної греблі

Дано: Питома витрата на рисбермі q , максимальна витрата через

греблю $Q_{\max}$, висота водозливу з боку нижнього б'єфу P_H ,

параметр параболи русла ріки P , похил дна русла i_p

Склад розрахунку:

1. Побудувати криву $Q = f(h_g)$ для параболічного русла ріки.
2. Визначити ширину водозливного фронту греблі.
3. Визначити розрахункову витрату спряження б'єфів водозливної греблі.
4. Розрахувати гаситель енергії і визначити довжину кріплення русла за ним.

2.2. Розрахунок спряжуючої споруди на скидному каналі.

Розрахунок швидкотоку.

Дано: Розрахункова витрата $Q = 0,5Q_H$, похил лотка i_l , перепад місцевості P , глибина води у верхньому б'єфі $H = h_0$ (h_0 - нормальна глибина в скидному каналі).

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини
2. Визначити глибину води в кінці швидкотоку.
3. Розрахувати гаситель енергії та довжину кріплення русла за ним.
4. Накреслити в масштабі повздовжній профіль швидкотоку.

Розрахунок консольного перепаду

Дано: Розрахункова витрата $Q = 0,5Q_H$; похил лотка i_l ; перепад місцевості, який потік долає в лотку P ; різниця відміток кінця консолі і поверхні води нижнього б'єфу Z_k ; похил консолі i_k ; глибина води в нижньому б'єфі $h_H = h_0$ (h_0 - нормальна

глибина в скидному каналі); глибина води у верхньому б'єфі $h_H = h_0$.

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини.
2. Визначити глибину в кінці консолі.
3. Розрахувати дальність відльоту струмини.
4. Визначити глибину воронки розмиву.
5. Накреслити в масштабі повздовжній розріз консольного перепаду.

Розрахунок східчастого перепаду колодезного типу

Дано: Розрахункова витрата $Q = 0,5Q_H$; перепад місцевості P ; глибина води у верхньому б'єфі $H = h_0$; в нижньому $h_H = h_0$ (нормальна глибина в скидному каналі).

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини перепаду.
2. Визначити кількість східців (ступенів) перепаду.
3. Визначити довжину східців (ступенів) перепаду.
4. Визначити форму спряження б'єфів.
5. Розрахувати гаситель енергії і довжину кріплення русла за ним.
6. Накреслити в масштабі повздовжній розріз споруди.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку

Варіант	ДК		Спрягаючи споруда			Витрата на рисбермі греблі q (м ³ /с)м
	Q_H м ³ /с	i ‰	тип	P м	i_l ‰	
1	2	3	4	5	6	7
00	20	0,1	П	12	-	10
01	25	0,12	Ш	10	10	9
02	35	0,11	КС	10	10	10
03	45	0,13	П	12	-	11
04	55	0,14	Ш	12	12	12
05	65	0,15	КС	8	11	13
06	75	0,16	П	9	-	14
07	85	0,17	Ш	10	13	15
08	95	0,18	КС	10	11	16
09	98	0,19	П	11	-	17
10	30	0,12	Ш	12	10	9
11	35	0,13	КС	13	12	10
12	45	0,14	П	14	-	11
13	55	0,15	Ш	15	14	12
14	65	0,20	КС	14	12	13
15	75	0,21	П	13	-	14
16	85	0,22	Ш	12	15	15
17	95	0,23	КС	11	12	16
18	25	0,16	П	10	-	17
19	28	0,16	Ш	15	16	18
20	40	0,17	КС	14	10	10
21	44	0,18	П	13	-	11
22	48	0,19	Ш	14	17	12
23	52	0,20	КС	12	12	13
24	56	0,21	П	12	-	13
25	60	0,22	Ш	11	14	15
26	64	0,23	КС	11	13	16
27	69	0,24	П	10	-	17
28	72	0,25	Ш	9	10	18
29	76	0,26	КС	8	11	19
30	50	0,13	КС	8	10	11

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
31	54	0,15	П	9	-	12
32	58	0,16	Ш	12	10	13
33	62	0,17	КС	8	12	14
34	66	0,18	П	10	-	15
35	70	0,19	Ш	13	10	16
36	74	0,20	КС	9	10	17
37	78	0,22	П	14	-	18
38	82	0,24	Ш	13	12	19
39	86	0,26	КС	9	12	20
40	60	0,14	П	9	-	12
41	64	0,25	Ш	13	10	11,5
42	68	0,27	КС	10	10	12,5
43	72	0,29	П	10	-	13,5
44	76	0,31	Ш	15	10	14,5
45	80	0,32	КС	11	10	15,5
46	84	0,33	П	11	-	16,5
47	88	0,34	Ш	15	12	17,5
48	92	0,35	КС	12	12	18,5
49	96	0,36	П	12	-	19,5
50	70	0,15	Ш	16	13	13
51	74	0,26	КС	13	12	10,5
52	78	0,27	П	13	-	11,5
53	82	0,28	Ш	14	14	12,5
54	86	0,29	КС	14	13	13,5
55	90	0,32	П	14	-	14,5
56	94	0,34	Ш	15	15	15,5
57	83	0,29	КС	15	14	16,5
58	87	0,27	П	15	-	17,5
59	91	0,25	Ш	15	20	18,5
60	80	0,16	Ш	15	25	14
61	84	0,21	КС	15	15	9,5
62	88	0,23	П	10	-	10,5
63	92	0,24	Ш	10	20	11,5
64	89	0,25	КС	10	14	12,5
65	83	0,24	П	12	-	13,5
66	77	0,20	Ш	12	12	14,5
67	71	0,19	КС	12	14	15,5

продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
68	66	0,28	П	13	-	16,5
69	61	0,17	Ш	11	18	17,5
70	90	0,30	КС	11	15	15
71	87	0,29	П	12	-	8,5
72	82	0,22	Ш	10	19	9,5
73	79	0,19	КС	11	14	10,5
74	73	0,18	П	12	-	11,5
75	67	0,17	Ш	8	18	12,5
76	63	0,16	КС	9	12	13,5
77	59	0,15	П	10	-	14,5
78	53	0,14	Ш	10	20	15,5
79	49	0,13	КС	11	15	16,5
80	26	0,17	П	10	-	16
81	29	0,12	Ш	12	15	7,5
82	33	0,13	КС	5,5	15	8,5
83	37	0,13	П	5,5	-	9,5
84	42	0,14	Ш	10	15	10,5
85	46	0,15	КС	5,0	12	11,5
86	41	0,16	П	5,0	-	12,5
87	51	0,17	Ш	12	25	13,5
88	57	0,18	КС	4,0	18	14,5
89	39	0,19	П	4,0	-	15,5
90	35	0,18	Ш	12	30	17
91	31	0,21	КС	6,6	12	18
92	28	0,22	П	6,6	-	17
93	27	0,15	Ш	11	10	16
94	69	0,24	КС	5,4	10	10
95	63	0,22	П	5,4	-	13
96	58	0,20	Ш	10	25	14
97	54	0,19	КС	5,8	14	12
98	52	0,18	П	5,8	-	10,5
99	48	0,19	КС	9,5	15	18

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку

В а р і а н т и		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
§ 1.1	C , мПа	0,05	0,06	0,09	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,18	0,20
	Мутність ρ_M , кг/м ³	0,5	0,8	2,0	1,2	1.6	2.4	2,8	3,0	2.6	2,2
	Питома маса грунту ρ_G , т/м ³	2,84	2.82	2.80	2,78	2,75	2.72	2.70	2,68	2,66	2.64
§ 1.2	d_p , мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,4	1,6	1.8	2,8
§ 2.1	i_k , %	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
	Z_k , м	5,0	5,3	5,5	5,7	5,9	6,2	6,5	6,7	6,8	7,0
§ 2.2	Q_{max} , м ³ /с	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500
	P_H , м	12	13	14	15	16	16	17	18	19	20
	Параметри параболи P , м	140	150	160	170	180	200	210	230	250	260
	Похил дна рус- ла ріки i_p , ‰	0,1	0,15	0,2	0.25	0,21	0,22	0,18	0,14	0,12	0,24

Таблиця 3

Механічний склад мутності води у водосховищі

В а р і а н т и			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр фракцій, мм	0,5 – 0,25	Вміст фракцій, в % від загального об'єму наносів	10	5	10	8	4	6	7	7	9	12
	0,25 – 0,10		15	10	10	12	26	20	25	28	20	18
	0,10 – 0,05		25	25	50	40	30	34	35	30	36	21
	0,05 – 0,02		25	25	10	20	20	25	20	25	24	24
	0,02 – 0,01		25	35	20	20	20	15	13	13	11	25

Таблиця 4

Механічний склад ґрунту на трасі скидного каналу

Діаметр d , мм	Процентний склад частинок наростаючою сумою									
	В а р і а н т и									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	20	25	30	10	15	5	40	10	40	8
10	30	35	40	20	20	10	45	15	50	15
20	40	45	50	30	30	20	50	30	60	26
40	50	55	60	40	40	30	60	40	70	35
80	60	75	70	50	50	40	65	60	80	45
100	80	90	80	60	60	70	75	78	90	80
120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100