

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки

01-04-89М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять, курсової роботи на тему
«Гідравлічний розрахунок відкритих русел та
гідротехнічних споруд» та самостійної роботи
з дисципліни

«ГІДРАВЛІКА»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні технології»
спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна
інженерія та водні технології»
всіх форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою з
якості ННІЕАВГ
Протокол № 4 від 17.12.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання практичних занять, курсової роботи на тему «Гідравлічний розрахунок відкритих русел та гідротехнічних споруд» та самостійної роботи з дисципліни «Гідравліка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Волк Л. Р., Мельничук І. М. – Рівне : НУВГП, 2024. – 52 с.

Укладачі: Волк Л. Р., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки; Мельничук І. М., к.т.н., старший викладач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки; Корнійчук В. І., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальний за випуск: Волк Л. Р. к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Керівник групи забезпечення спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології

Клімов С. В.

Попередня версія методичних вказівок: 01-04-106.

© Л. Р. Волк,
І. М. Мельничук,
В. І. Корнійчук, 2024
© НУВГП, 2024

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Робота повинна бути виконана у вигляді пояснювальної записки на листках паперу А4 (210×297 мм).

На початку записки наводиться загальний план гідровузла і вихідні дані для гідравлічних розрахунків.

Розрахунки виконують в послідовності, поданій у даних методичних вказівках. На початку кожного параграфу потрібно привести вихідні дані. При цьому частина з них буде взята із попередніх параграфів.

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

Пристаючи до розрахунків, обов'язково потрібно скласти модель-схему гідравлічного розрахунку споруди. Всі схеми, таблиці, малюнки і формули нумеруються. Нумерацію можна складати з врахуванням нумерацій розділів і параграфів. Наприклад, для розділу 1 малюнки і формули будуть нумеруватись 1.1, 1.2, 1.3 і т. д., а для розділу 2 відповідно 2.1, 2.2, 2.3,...2.*n*.

Список використаної літератури приводиться в кінці пояснювальної записки.

В пояснювальній записці вказують літературні джерела, з яких беруться методи розрахунку чи формули. При цьому в квадратних дужках ставиться лише номер літературного джерела згідно зі списком, наприклад [1, 2, 3,...].

Результати однотипних розрахунків наводяться у вигляді таблиць які нумерують подібно рисункам. Всі аркуші записки включно з рисунками, повинні бути пронумеровані.

Студенти спеціальності 194 „Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології” виконують розділи 1, 2, 3, 4.

В розділі 3 кожний студент виконує розрахунок лише однієї спрягаючої споруди згідно з варіантом, тобто або багатоступінчатий перепад, або бистроток, або консольний перепад.

ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

РОЗДІЛ I. Гідравлічний розрахунок магістрального або дериваційного каналу при рівномірному русі.

РОЗДІЛ II. Гідравлічний розрахунок шлюза-регулятора на магістральному каналі.

- 2.1. Розрахунок пропускної здатності шлюза-регулятора.
- 2.2. Розрахунок спряження б'єфів шлюза-регулятора.

РОЗДІЛ III. Розрахунок спрягаючої споруди.

- 3.1. Розрахунок бистротоку.
 - 3.1.1. Визначення ширини вхідної частини бистротоку.
 - 3.1.2. Розрахунок лотоки бистротоку.
 - 3.1.3. Розрахунок спряження б'єфів за бистротоком.
- 3.2. Розрахунок консольного скиду.
 - 3.2.1. Визначення ширини входу консольного скиду.
 - 3.2.2. Розрахунок лотоки консольного скиду.
 - 3.2.3. Визначення глибини воронки розмиву.
- 3.3. Розрахунок східчастого колодезяного перепаду.
 - 3.3.1. Визначення ширини вхідної частини перепаду.
 - 3.3.2. Визначення кількості східців і їх розрахунок.
 - 3.3.3. Розрахунок спряження б'єфів за перепадом.

РОЗДІЛ IV. Розрахунок водозливної греблі.

- 4.1. Побудова кривої $Q = f(h_0)$ для русла ріки.
- 4.2. Визначення ширини водозливного фронту греблі.
- 4.3. Визначення розрахункової витрати спряження б'єфів водозливної греблі.
- 4.4. Розрахунок гасителя енергії і довжини кріплення русла за ним.

1. РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ НА РІВНОМІРНИЙ РУХ

Метою гідравлічного розрахунку каналу при рівномірному русі є визначення розмірів поперечного перерізу при заданому похилі дна, котрі будуть забезпечувати стійкість русла проти розмиву та замулення. Найчастіше проектують і будують канали трапецеїдального поперечного перерізу.

Розрахунок каналів на рівномірний рух виконуємо за формулою витрати, яка ґрунтується на формулі Шезі

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

де $K = \omega \cdot C \sqrt{R}$ – модуль витрати;

$$\omega = (b + m \cdot h)h = (\beta + m)h^2, \quad (1.2)$$

$\beta = \frac{b}{h}$ – відносна ширина по дну; b – ширина каналу по дну; h –

глибина води в каналі; m – коефіцієнт бокових укосів каналу, який при глибині до 5 м приймається згідно [1];

R – гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (1.3)$$

χ – змочений периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = (\beta + 2\sqrt{1 + m^2}) \cdot h; \quad (1.4)$$

C – коефіцієнт Шезі, згідно [1], необхідно обчислювати за формулою

$$C = \frac{1}{n} + (27.5 + 300 \cdot n) \lg R, \quad (1.5)$$

або за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (1.6)$$

де n – коефіцієнт шорсткості для каналу, який приймається за нормами [1].

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

$$V_{н.з.} < V_p < V_{дон.п.},$$

де $V_{дон.п.}$ – розрахункова нерозмиваюча швидкість води в каналі за нормами [1]

$$V_{дон.п.} = K_1 \sqrt{K_c} \cdot V_{дон.}, \quad (1.7)$$

K_I – коефіцієнт, який враховує відхилення щільності ґрунту від умовного стандартного значення $\gamma = 2650 \text{ кгс/м}^3$

$$K_I = \sqrt{\frac{\gamma_s - \gamma}{1650}}, \quad (1.8)$$

де γ_s , γ - відповідно щільність ґрунту (питома вага) і води в кгс/м^3 ;

K_c – коефіцієнт який враховує умови функціонування каналу і приймається за нормами [1];

$V_{\text{дон.}}$ – нормативне значення [1] допустимої нерозмиваючої швидкості;

$V_{\text{н.з.}}$ – найменша швидкість води в каналі, при якій канал не замулюється (не замулююча швидкість), котру згідно [1], обчислюють за формулою

$$V_{\text{н.з.}} = 0,3R^{0,25}. \quad (1.9)$$

Замулення каналу не буде відбуватись, якщо транспортуюча здатність потоку буде більшою або рівною його мутності ρ , г/м^3 , яку потрібно визначати за формулами:

$$\text{при } 2 < W < 8 \text{ мм/с} \quad \rho = 700 \left(\frac{V}{W} \right)^{3/2} \sqrt{R \cdot i} \quad (1.10)$$

$$\text{при } 0,4 < W < 2 \text{ мм/с} \quad \rho = 350 \cdot V \sqrt{\frac{R \cdot i}{W}}, \quad (1.11)$$

де W – гідравлічна крупність частинок середнього діаметра , мм/с , яка приймається за таблицею 1.1;

V – швидкість течії води в каналі, м/с ;

R – гідравлічний радіус потоку, м ;

i – похил дна каналу.

Таблиця 1.1.

d , мм	W , мм/с	d , мм	W , мм/с	d , мм	W , мм/с
0,005	0,0175	0,060	2,49	0,150	15,60
0,010	0,0692	0,070	3,39	0,175	18,90
0,020	0,2770	0,080	4,43	0,200	21,60
0,030	0,6230	0,090	5,61	0,225	24,30
0,040	1,1100	0,100	6,92	0,250	27,00
0,050	1,7300	0,125	10,81	0,275	29,90

Допускається визначати незамулюючу швидкість за формулою

$$V_{н.з.} = A \cdot Q^{0,2}, \quad (1.12)$$

де A – емпіричний коефіцієнт

$$A = 0,33 \text{ для } \bar{W} < 1,5 \text{ мм/с,}$$

$$A = 0,44 \text{ для } \bar{W} = 1,5 \dots 3,5 \text{ мм/с,}$$

$$A = 0,55 \text{ для } \bar{W} > 3,5 \text{ мм/с;}$$

Q – розрахункова витрата каналу, м³/с;

\bar{W} – середньозважена гідравлічна крупність фракції наносів, м/с

$$\bar{W} = \frac{\sum W_i P_i}{\sum P_i} = \frac{\sum W_i P_i}{100}, \quad (1.13)$$

де W_i – середньозважена гідравлічна крупність фракції зважених наносів, що визначається за формулою

$$W_i = \frac{W_n + W_{n+1} + \sqrt{W_n \cdot W_{n+1}}}{3}, \quad (1.14)$$

де W_n, W_{n+1} – гідравлічні крупності, котрі відповідають частинкам наносів з діаметрами d_n, d_{n+1} ;

P_i – відсотковий вміст кожної фракції наносів.

Для фракції наносів з діаметрами $d=0,05 \dots 0,5$ мм гідравлічна крупність W та W_i наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

d , мм	0,5	0,25	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	<0,005
W , мм/с	53	27	6,92	1,73	0,277	0,069	0,017	
W_i , мм/с	39,28	15,8	4,04	0,90	0,16	0,0405	0,00875	

У випадку коли $V_p > V_{дон.п.}$ потрібно запроєктувати кріплення русла каналу. Якщо $V_{н.з.} > V_p$, то замулення каналу можна уникнути, збільшивши похил дна або запроєктувати у голові магістрального каналу відстійник, в якому за рахунок зменшення швидкості частина наносів випадає на дно.

Розглянемо задачу, яка найчастіше зустрічається на практиці.

Дано: розрахункова витрата Q_n , м³/с, похил дна каналу i ; тип ґрунту; розрахункове питоме зчеплення ґрунту C , Н/м² (або

Па); щільність ґрунту (питома вага) γ , т/м³; механічний склад завислих у воді наносів, а також відсотковий вміст P_i кожної фракції.

Запроектувати трапецеїдальний канал, тобто визначити:

1. Параметри поперечного перерізу, ширину по дну b , глибину h , коефіцієнт закладення бокового схилу m .

2. Побудувати графіки $Q = f_1(h)$ і $V = f_2(h)$, а також уточнити за графіками глибину наповнення каналу h_0 і дійсну середню швидкість потоку V .

3. Зробити перевірку на розмив і замулення та визначити транспортуючу здатність потоку.

4. Накреслити в масштабі поперечний переріз каналу.

Хід розрахунку:

1. Згідно норм проектування [1] визначають коефіцієнт шорсткості n , коефіцієнт укосів m та відносну ширину каналу по дну β .

2. Задають значення глибини потоку h , за формулами (1.4), (1.2), (1.3), (1.6), (1.1), визначаємо χ , ω , R , C , Q . Всі обчислення ведуть у формі таблиці.

Таблиця 1.3.

h , м	χ , м	ω , м ²	R , м	C , м ^{0.5} /с	Q , м ³ /с
h_1	χ_1	ω_1	R_1	C_1	Q_1
·					·
h_n					$Q_n \geq Q_n$

3. За даними таблиці 1.3 будують графік $Q = f(h)$ (рис.1.1) з якого знімають глибину води в каналі у першому наближенні h .

4. Визначають ширину каналу по дну $b = \beta \cdot h$. При $Q=1 \dots 10$ м³/с $b=1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0$ метрів. При $Q \geq 10$ м³/с ширину по дну трапецеїдальних каналів приймають цілим числом метрів.

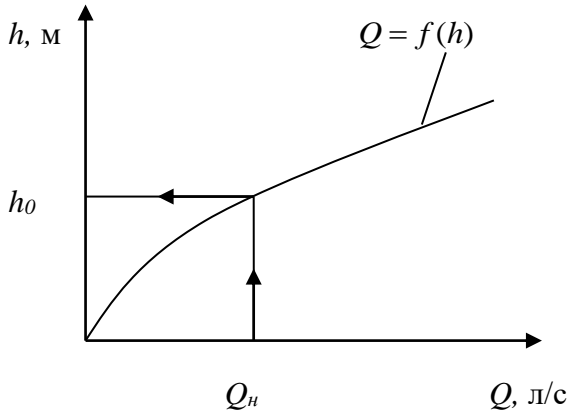


Рис. 1.1. Графік $Q = f(h)$

5. Прийнявши стандартне значення b , задаючись глибиною води в каналі h , за формулами (1.2), (1.4), (1.3), (1.6), (1.1), визначають ω , χ , R , C , V , Q . Середню швидкість потоку визначають за формулою Шезі

$$V = \frac{Q}{\omega} = C\sqrt{Ri} \quad (1.15)$$

Всі розрахунки наводять у вигляді таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.

h , м	χ , м	ω , м ²	R , м	C , м ^{0.5} /с	V , м/с	Q , м ³ /с
h_1						Q_1
·						·
h_n						$Q_n \geq Q_n$

За даними таблиці 1.4 будують графіки $Q = f_1(h)$ і $V = f_2(h)$ (рис.1.2), з яких знімають уточнене значення нормальної глибини в каналі h_0 та середню швидкість потоку V .

6. Виконують перевірку запроєктованого каналу на розмив і замулення та визначають транспортуючу здатність потоку ρ_t за формулами (1.10) та (1.11).

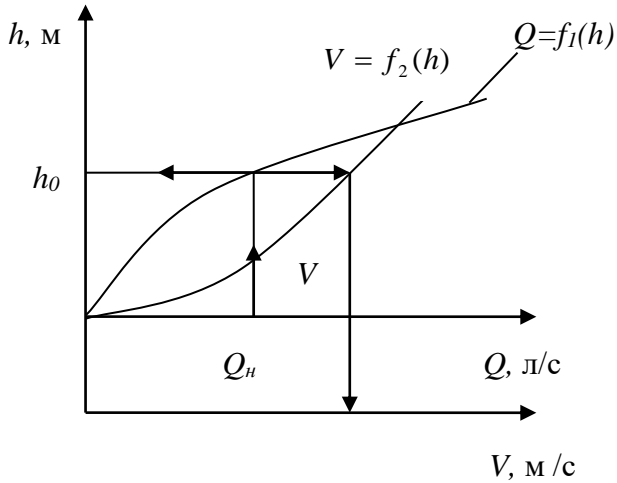


Рис. 1.2. Графіки $Q = f_1(h)$ і $V = f_2(h)$ при $b = const$

Якщо $V_{н.з.} < V_{\min}$, а $V_{дон.р.} \geq V_{\max}$, де V_{\min} відповідає $Q_{\min} = 0,5 \cdot Q_n$, а V_{\max} відповідає $Q_{\max} = 1,1 \cdot Q_n$ і можуть бути визначені із рис. 1.2 то канал запроектований вірно.

При $\rho_i \geq \rho$ замулення каналу також відсутнє.

7. Креслять у масштабі 1:100 чи 1:200 поперечний переріз каналу.

Приклад розрахунку МК можна знайти в [5].

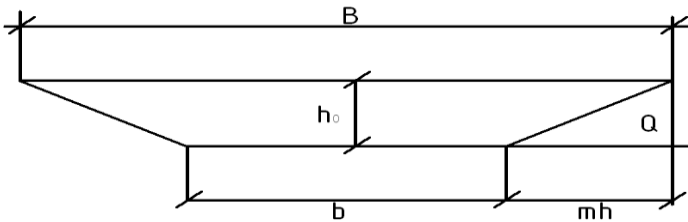


Рис. 1.3. Поперечний переріз МК

2. РОЗРАХУНОК ШЛЮЗА-РЕГУЛЯТОРА

Шлюзи-регулятори призначені для регулювання рівнів і витрат води в каналах [2, 3, 4, 5]. В курсовій роботі до складу розрахунків шлюза-регулятора входять:

- 1) визначення ширини і кількості прогонів n шлюза-регулятора, як підтопленого водозливу з широким порогом;
- 2) визначення розрахункової витрати спряження б'єфів;
- 3) розрахунок гасителів енергії та довжини кріплення русла в нижньому б'єфі.

Вихідні дані: нормальна витрата в каналі Q_n , м³/с; розміри поперечного перерізу каналу – ширина по дну b_k , коефіцієнт бокового укусу m_k , нормальна глибина води в каналі h_0 ; гідравлічний перепад z .

2.1. Визначення планових розмірів шлюза-регулятора

Розрахунок шлюза-регулятора, згідно [4,5] ведуть за формулою

$$Q_n = \varphi_n n b h \sqrt{2g(H_0 - h)} = \varphi V h \sqrt{2g(H_0 - h)}, \quad (2.1)$$

де $\varphi = f(m)$ – коефіцієнт швидкості, який визначається в залежності від коефіцієнта витрати m , визначеного з врахуванням стиснення потоку, як у горизонтальному так і вертикальному напрямках, і при $P=0$ величина m визначається лише із врахуванням бокового стиснення потоку;

n – кількість прогонів шлюза-регулятора;

b – ширина прогону шлюза-регулятора;

h – глибина на порозі шлюза-регулятора

$$h = h_n - z_B, \quad (2.2)$$

$h_n = h_0$ – глибина підтоплення шлюза-регулятора (розділ I);

H_0 – повний напір над порогом шлюза-регулятора

$$H_0 = H + \frac{\alpha V_0^2}{2g}; \quad (2.3)$$

z_B – перепад відновлення потенціальної енергії потоку при виході із шлюза

$$z_B = \zeta_B \cdot h_k; \quad (2.4)$$

H – геометричний напір над порогом шлюза

$$H = h_{II} + z, \quad (2.5)$$

$\alpha=1,05\dots 1,1$ – коефіцієнт кінетичної енергії (коефіцієнт Коріоліса);

V_0 – швидкість підходу потоку до шлюза, яка може бути визначена із графіка $Q = f_2(h)$ для $h=H$ або за формулою

$$V_0 = \frac{Q_H}{\Omega_{BB}} = \frac{Q}{(b_K + m_K H)H}; \quad (2.6)$$

Z_B – відносний гідравлічний перепад [2, 5, 6] визначається за графіком

$$\xi_B = f\left(v_{II} = \frac{n \cdot b \cdot h_{II}}{\Omega_{HB}}; \xi_{II} = \frac{h_{II}}{h_K}\right); \quad (2.7)$$

Ω_{HB} – площа живого перерізу потоку за шлюзом-регулятором

$$\Omega_{HB} = \frac{Q_H}{V} = \frac{Q_H}{(b_K + m_K h_{II})h_{II}}; \quad (2.8)$$

V – середня швидкість потоку у магістральному каналі (розділ I);

h_K – критична глибина в отворі шлюза-регулятора

$$h_K = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q_H^2}{g(n \cdot b)^2}}. \quad (2.9)$$

Коефіцієнт витрати

$$m = f\left(\frac{r}{b}; \frac{b}{B_0}\right), \quad (2.10)$$

де $\frac{r}{b}$ – відносне округлення вхідних ребер биків і стоянів шлюза

(рис. 2.1);

B_0 – середня ширина потоку перед прогоном шлюза.

Для прогону обмеженого биками

$$B_{0\delta} = b + \delta, \quad (2.11)$$

($\delta=0,2\dots 0,3$) $b \geq 1,0$ м – товщина бика (рис. 2.1).

Для прогону обмеженого стоянами (він завжди один):

$$\text{при } B_{0\delta} \geq b_K \quad B_{oc} = b + m_K \cdot H, \quad (2.12)$$

$$\text{при } B_{0\delta} < b_K \quad B_{oc} = b + m_K \cdot H - (b + \delta)(n - 1), \quad (2.13)$$

$B_{об}$ – будівельна ширина шлюза-регулятора або ширина рисерми B_p

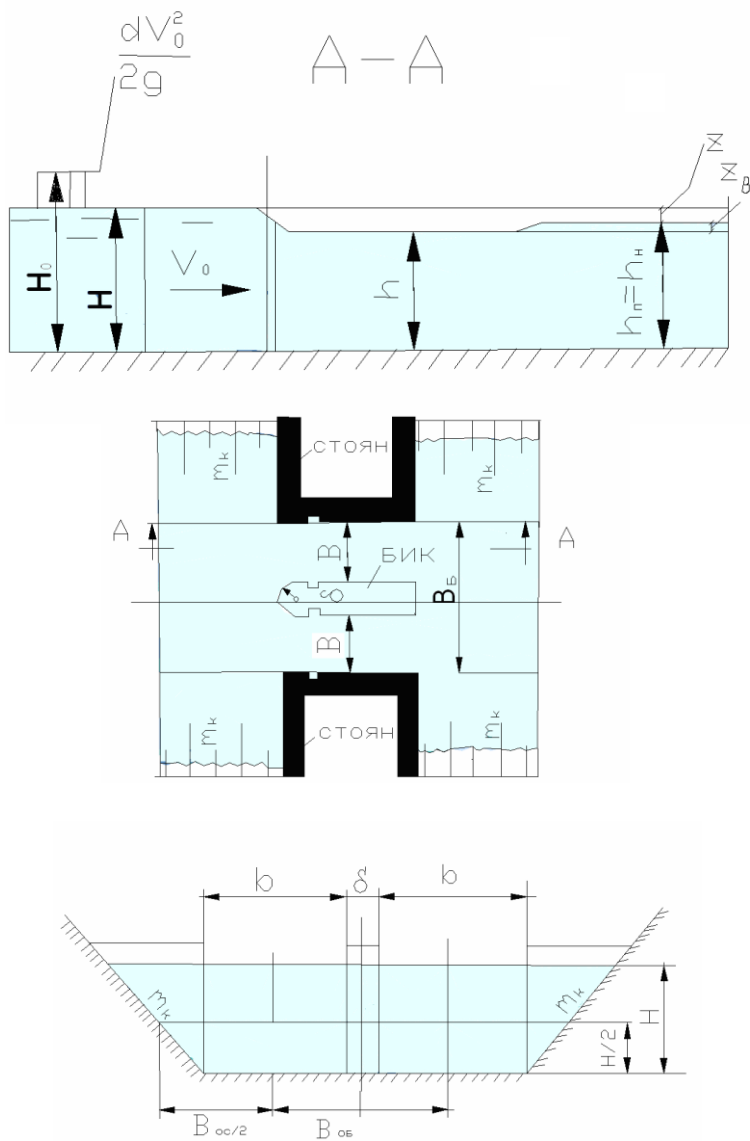


Рис. 2.1. Поперечний переріз МК

$$B_p = B_{0g} = n \cdot b + \delta(n-1), \quad (2.14)$$

ширина одного прогону приймається в межах

$$b = (1 \dots 2)H. \quad (2.15)$$

Розрахунки виконують методом послідовних наближень.

2.1.1. Перше наближення

1. За формулами (2.5), (2.6), (2.3), визначають відповідно H , V_0 , H_0 .

2. Задаються величиною коефіцієнта швидкості в межах $\varphi = 0,96 \dots 0,98$ та визначають приблизно глибину на порозі $h = h_{II} - (5 \dots 10)$, см.

3. За формулою (2.1) визначають загальну ширину шлюза в першому наближенні

$$B_1 = \frac{Q_H}{\varphi \cdot h \sqrt{2g(H_0 - h)}}.$$

4. За формулами (2.15) та (2.11) визначають ширину одного прогону та товщину бичка δ

5. Визначають кількість прогонів $n = B_1 / b$, причому b кратне 0,10 м. На цьому перше наближення закінчене.

2.1.2. Друге наближення

1. Визначають за формулою (2.9) h_k , обчислюють v_n і ξ_n та за формулою (2.7) – ζ_6 .

2. Обчислюють за формулою (2.4) Z_B , за формулою (2.2) глибину на порозі шлюза h .

3. Приймаємо відношення r/b , обчислюють b/B_0 для прогонів обмежених стоянами і бичками і за таблицями [5, 6, 7] визначають коефіцієнт витрати m з врахуванням бокового стиснення. Для прискорення розрахунків слід брати постійним на протязі наближень відношення $r/b = 0; 0.1; 0.3; 0.5$, що зменшить необхідну кількість разів інтерполяцій в межах таблиці. Загальний для n прогонів шлюза коефіцієнт витрати з врахуванням бокового стиснення, можна знайти за формулою

$$m = \frac{m_c + (n-1)m_\sigma}{n}, \quad (2.16)$$

де $m_c = f\left(\frac{r}{b}; \frac{b}{B_{oc}}\right)$, $m_\sigma = f\left(\frac{r}{b}; \frac{b}{B_{o\sigma}}\right)$ – відповідно коефіцієнти

витрати прогону обмеженого стоянами та бичками.

4. Визначають за таблицею коефіцієнт швидкості φ для всього шлюза [5, 7] $\varphi = f(m)$.

5. Обчислюють необхідну ширину шлюза-регулятора в другому наближенні

$$B_2 = \frac{Q_H}{\varphi \cdot h \sqrt{2g(H_0 - h)}}.$$

Якщо відхилення $\frac{B_1 - B_2}{B_1} \cdot 100 \leq 3\%$, то $B_2 = B$ – необхідній

ширині шлюза. Після цього визначають ширину прогонів b і кількість n . При відхиленні $>3\%$ роблять третє наближення за такою послідовністю як і друге, і відхилення обчислюють між B_2 і B_3 .

2.2. Визначення розрахункової витрати спряження б'єфів за шлюзом

Як відомо [3, 5], розрахунковою витратою спряження б'єфів є та, при якій умови спряження б'єфів найгірші. Розрахунки для визначення цієї витрати ведуть за формулою вільного витікання з-під щита

$$Q = \varphi_c n \cdot b \cdot h_c \sqrt{2g(H_0 - h_c)}, \quad (2.17)$$

де φ – коефіцієнт швидкості, який визначають з [7] в залежності від числа Фруда

$$F_r = \frac{V_0^2}{gH}, \quad (2.18)$$

h_c – стиснена глибини за щитом

$$h_c = \varepsilon \cdot a, \quad (2.19)$$

$\varepsilon = f\left(\frac{a}{H}\right)$ – коефіцієнт вертикального стиснення струмини.

Всі розрахунки, як правило ведуть у табличній формі (табл. 2.1) у такій послідовності:

1. Задаються висотою відкриття щита a (рис. 2.2); обчислюють a/h і за таблицями визначають ε і стиснуту глибину

h_c .

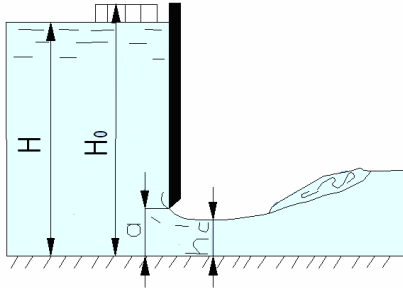


Рис. 2.2

2. Визначають величину $\varphi = f(F_r)$.
3. За формулою (2.17) визначають витрату Q .
4. За формулою (2.9) визначають критичну глибину h_k .
5. Обчислюють глибину h_c'' спряжену з h_c за формулою

$$h_c'' = \frac{h_c}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \cdot \left(\frac{h_k}{h_c} \right)^3} - 1 \right). \quad (2.20)$$

6. За допомогою графіка $Q = f_1(h)$ (рис. 1.2) знаходять значення побутової глибини в каналі $h_0 = h_n$, яка є глибиною в нижньому б'єфі – за шлюзом.

7. Обчислюють різницю $h_c'' - h_B$. Для врахування умов експлуатації шлюза-регулятора різниці беруть між h_c'' , яке відповідає відкриттю щита a_n і побутовою глибиною h_B , яка відповідає відкриттю щита a_{n-1} . Витрата для якої додатна

різниця $h_c'' - h_B$ є максимальною і є розрахунковою витратою спряжених б'єфів Q_P .

Таблиця 2.1.

F_r	0	0,01	0,025	0,06	$\geq 0,10$
φ	1,06	1,0	0,97	0,96	0,95

2.3. Розрахунок гасителя енергії за шлюзом-регулятором

Для забезпечення форми спряження б'єфів за шлюзом-регулятором у вигляді затопленого гідравлічного стрибка, як правило, розраховують гаситель енергії у вигляді суцільної або прорізної водобійної стінки [4, 7]. Наведемо порядок розрахунку суцільної водобійної стінки (рис. 2.3), яка працює найчастіше по типу затопленого водозливу з тонкою стінкою або практичного профілю:

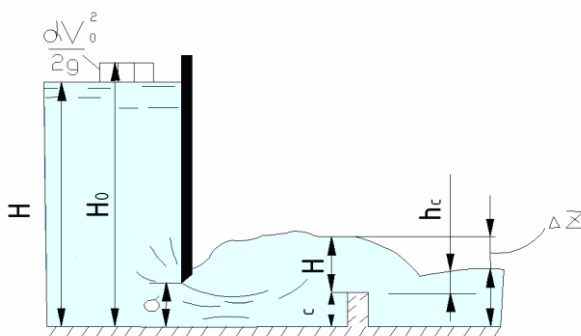


Рис. 2.3.

1. Задаються висотою стінки c_1 і визначають напір над порогом H_1 за формулою

$$H_1 = \sigma \cdot h_c'' - c_1, \quad (2.21)$$

де $\sigma = 1,05 \dots 1,10$ – коефіцієнт затоплення гідравлічного стрибка; h_c'' – глибина спряжена із h_c відповідною розрахунковій витраті спряження б'єфів (табл. 2.2).

2. Обчислюють коефіцієнт витрати з врахуванням швидкості підходу за формулою Р.Р.Чугаєва

$$m_{01} = 0,402 + 0,054 \frac{H_1}{c_1}. \quad (2.22)$$

Таблиця 2.2.

$a, \text{ м}$	$h_c, \text{ м}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_k, \text{ м}$	$h_c'', \text{ м}$	$h_{\delta}, \text{ м}$	$h_c'' - h_{\delta}, \text{ м}$
a_1	h_{c1}	Q_1	h_{k1}	h_{c2}''	$h_{\delta 1}$	-
a_2	h_{c2}	Q_2	h_{k2}	h_{c2}''	$h_{\delta 2}$	$h_{c12}'' - h_{12}$

3. Визначають глибину підтоплення водобійної стінки рівнем води нижнього б'єфу

$$h_{\text{пл}} = h_{\delta 1} - c_1 \quad (2.23)$$

де h_{δ} – побутова глибина (табл. 2.2) відповідна розрахунковій витраті спряження б'єфів.

4. Обчислюють коефіцієнт підтоплення σ_n за формулою Базена

$$\sigma_{\text{пл}} = 1,05 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot \frac{h_{\text{пл}}}{c_1} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{\Delta z}{H_1}}, \quad (2.24)$$

де гідравлічний перепад на водобійній стінці

$$\Delta z = \sigma \cdot h_c'' - h_{\delta} = H_1 - h_{\text{пл}}. \quad (2.25)$$

5. Визначають витрату через водобійну стінку за формулою

$$Q_1 = m_{01} \sigma_{\text{пл}} b_c \sqrt{2gH_1}^{3/2}. \quad (2.26)$$

При $Q_1 > Q_p$ задаються $c_2 < c_1$ і повторюють розрахунок. Після трьох невдалих спроб будують графік $Q = f(c)$ (рис. 2.4) і знімають точне значення висоти водобійної стінки c .

Виконують перевірку спряження б'єфів за водобійною стінкою. Гідравлічний стрибок за водобійною стінкою буде затопленим при виконанні умови

$$\frac{\Delta z}{c} < \left(\frac{\Delta z}{c} \right)_k, \quad (2.27)$$

де $\left(\frac{\Delta z}{c}\right)_k$ – критичне значення відносного гідравлічного перепаду [3, 5, 7], яке при орієнтовних розрахунках приймають $\left(\frac{\Delta z}{c}\right)_k \approx 0,75$, а взагалі $\left(\frac{\Delta z}{c}\right)_k = f\left(m_0, \frac{H}{c}\right)$, якщо умова (2.27) не виконується, то на віддалі $3 \cdot h_c''$ від першої стінки проєктують другу водобійну стіну.

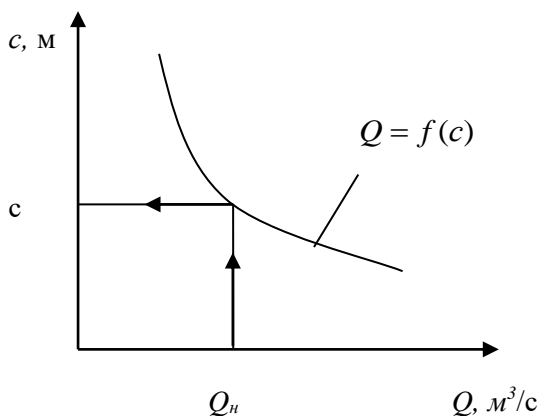


Рис. 2.4. Графік $Q = f(c)$

Довжину кріплення русла нижнього б'єфу за водобійною стінкою в курсовій роботі можна приймати рівною довжині післястрибкової ділянки $l_{пд}$ орієнтовно

$$L_k = l_{пд} \approx 10 \cdot h_{\delta}. \quad (2.28)$$

3. РОЗРАХУНОК СПРЯГАЮЧИХ СПОРУД НА МАГІСТРАЛЬНОМУ (ДЕРИВАЦІЙНОМУ) КАНАЛІ

До спрягаючих споруд, які будуються у місцях зосередженого падіння місцевості відносяться: бистротокі, східчасті колодязні і безколодязні перепади та консольні перепади.

3.1. Розрахунки бистротоків

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини бистротока.
2. Визначити глибину в кінці лотоки бистротока.
3. Визначити форму спряження б'єфів за бистротоком та розміри гасителя енергії і довжину кріплення русла за ним.
4. Накреслити в масштабі поздовжній розріз бистротока.

Вихідні дані: витрата води в каналі Q_H , розміри живого перерізу потоку в каналі і ширина по дну b_k , глибина h_0 , коефіцієнт бокових укосів m_k , похил дна бистротока $i_{Д}$, перепад місцевості P .

3.1.1. Визначення ширини вхідної частини бистротоку

Вхідна частина бистротоку, перепаду і консольного перепаду розраховується як не підтоплений водозлив з широким порогом. Розрахункова схема наводиться на рис. 3.1.

Розрахунок можна вести за формулою

$$Q = m \cdot B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (3.1)$$

де $m = f\left(\frac{r}{b}; \frac{b}{B_0}\right)$ – коефіцієнт витрати із врахуванням бокового

стиснення непідтопленого водозливу з широким порогом при висоті порогу $P=0$;

$B = n \cdot b$ – ширина водозливу;

n – кількість прогонів вхідної частини;

b – ширина прогону водозливу;

H_0 – повний напір перед вхідною частиною.

Розрахунок ведуть методом послідовних наближень.

Перше наближення

1. Визначають H_0 за формулою (2.3), підставляючи замість H глибину рівномірного руху в каналі $h_0 = h_o = h_n$.

2. Задаються величиною $m=0,35\dots 0,36$ і визначають в першому наближенні ширину вхідної частини B_1

$$B_1 = \frac{Q_H}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}}. \quad (3.2)$$

3. Приймаючи ширину прогону $b=(1...2)H$, визначають їх кількість $n = B_1/b$, та товщину бичка $\delta=(0,2...0,3)b$. При цьому ширина прогону b приймається кратною 0,1 м. $n \cdot b \approx B_1$.

На цьому перше наближення завершено.

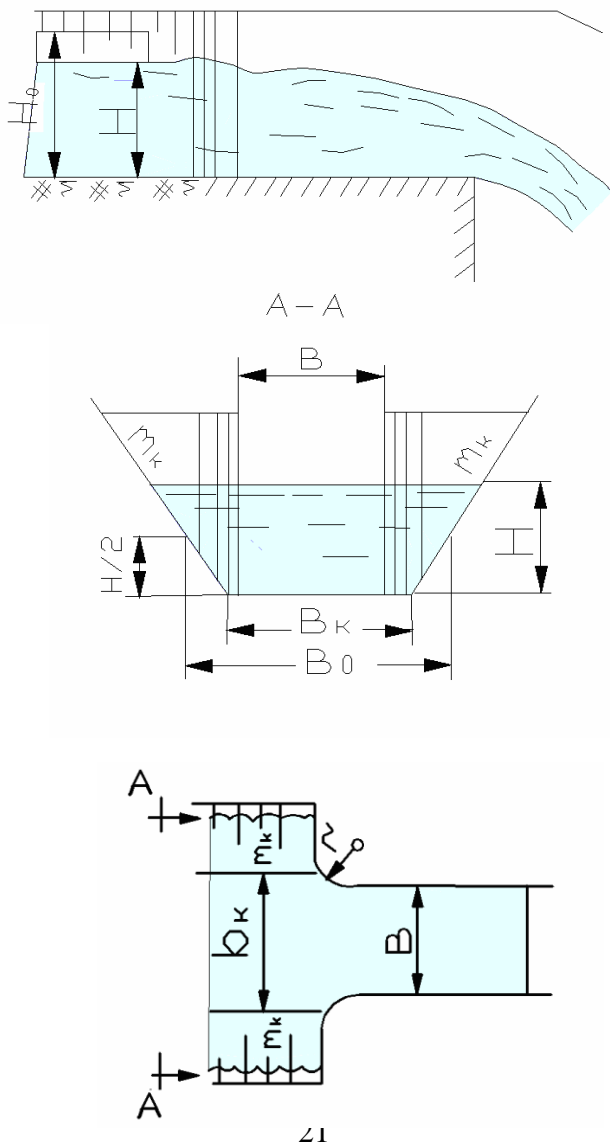


Рис. 3.1. Схема до розрахунку вхідної частини бистротокa

Друге наближення

1. Приймаючи значення r/b та скориставшись залежностями (2.10)–(2.13) одержуємо з [5, 6, 7] значення m .

2. За формулою (3.2) визначаємо ширину вхідної частини в другому наближенні B_2 .

3. Якщо $\frac{B_1 - B_2}{B_1} \cdot 100 \leq 3\%$, то $B_2 = B = n \cdot b$. В

протилежному випадку роблять ще одне наближення.

4. За формулою (2.14) визначають повну ширину вхідної частини.

3.1.2. Визначення глибини в кінці лотки бистроточка, форми спряження б'єсів та гасіння енергії

Як правило, ширину лотки бистроточка приймають рівною ширині вхідної частини, тобто, $b_l = B_{ex}$.

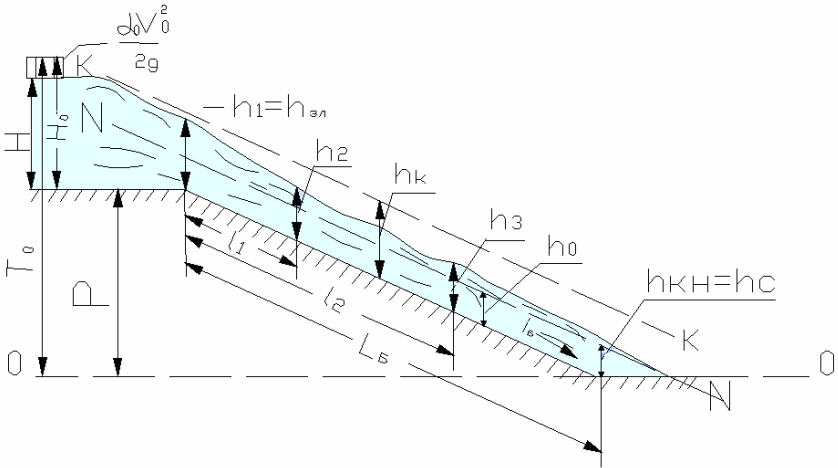


Рис. 3.2. Схема до розрахунку лотки бистроточка

Лотки діляться на гідравлічно довгі і короткі. При відсутності у голові бистроточка (вхідній частині) затворів у лоточі має місце крива спаду типу b_2 . Тому при гідравлічно-

довгих бистротоках $\left(\frac{h_k}{L_b} \leq 0.008 \right)$ глибина в кінці лотоки дорівнює глибині рівномірного руху, тобто, $h_{KH} = h_{OL}$. Її визначають за схемою наведеною у розділі I, лише приймаючи такі дані: Q_H , $n=0,012...0,017$, $b = b_{Л}$, а коефіцієнт бокових укосів при прямокутній формі поперечного перерізу $m=0$; похил дна лотоки $i_{Л}$. Якщо бистроток короткий, то кінцева глибина $h_{KH} > h_{OL}$ і її можна знайти двома шляхами: класичним шляхом побудови кривої вільної поверхні одним із методів та шляхом підбору (за пропозицією І.І. Науменка) із рівняння теорії спряжених б'єфів.

Побудова кривої вільної поверхні у лотоці бистротока за методом Б.О. Бахметьєва ведуть у такій послідовності:

1. Визначають глибину на початку лотоки (на зломі русла)

$$h_{3л} = h_k \quad \text{при} \quad \frac{h_k}{h_{ол}} < 2,$$

$$h_{3л} = (0,7...0,8)h_k \quad \text{при} \quad \frac{h_k}{h_{ол}} > 2,$$

h_k – критична глибина, обчислюється за формулою (2.9).

2. Обчислюють орієнтовну глибину в кінці лотоки h_{KH}

$$h_{KH} = (1,005...1,01)h_{OL}.$$

3. Задаються інтервалом зміни глибини у лотоці бистротока Δh

$$\Delta h = \frac{h_{3л} - h_{KH}}{N}, \quad (3.3)$$

де N – кількість розрахункових ділянок кривої вільної поверхні, як правило $N=5...6$.

4. Обчислюють проміжні глибини між $h_{3л}$ і h_{KH} , тобто

$$h_2 = h_{3л} - \Delta h,$$

$$h_3 = h_{3л} - 2\Delta h = h_2 - \Delta h \quad \text{і т.д. (рис. 3.2).}$$

5. Визнають за рівнянням Б.О. Бахметьєва віддалі між $h_{3л}$ і кожною із проміжних глибин

$$l = \frac{h_{0Л}}{i_{Л}} \{ \eta_2 - \eta_1 - (1 - \bar{j}) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \}, \quad (3.4)$$

де $\eta_2 = \frac{h_2}{h_{0Л}}$, $\eta_1 = \frac{h_{3Л}}{h_{0Л}}$ – відносні глибини на кінцях розрахункової ділянки кривої вільної поверхні;
 \bar{j} – середній параметр, який враховує кінетичність потоку на розрахунковій ділянці

$$\bar{j} = 0,5(j_1 + j_2) = \frac{\alpha_{из} \bar{C}^2 \cdot \epsilon_{Л}}{g \bar{\chi}}; \quad (3.5)$$

\bar{C} , $\bar{\chi}$ – відповідно середні значення коефіцієнта Шезі і змоченого периметра на розрахунковій ділянці;

$\varphi(\eta_2), \varphi(\eta_1)$ – числові значення функції Б.О. Бахметьєва для відповідних глибин на початку і в кінці ділянки потоку, які беруться із таблиці [5], як $\varphi(\eta) = f(x, \eta)$;

x – гідравлічний показник русла, який можна визначити за формулою

$$x = 2 \cdot \frac{\lg \frac{\bar{K}}{K_{0Л}}}{\lg \frac{\bar{h}}{h_{0Л}}}, \quad (3.6)$$

де $K_{0Л} = \frac{Q_H}{\sqrt{i_{Л}}}$, $\bar{K} = 0,5(K_1 + K_2)$, тут K_1, K_2 – відповідно

модулі витрати нерівномірного руху, обчислені для глибин h_1, h_2 ;
 \bar{h} – середня глибина потоку в лотоці бистротока

$$\bar{h} = 0,5(h_{3Л} + h_{кн}); \quad (3.7)$$

\bar{K} – середній модуль витрати для всієї лотоки можна також визначити за формулою

$$\bar{K} = \bar{\omega} \cdot \bar{C} \sqrt{\bar{R}}, \quad (3.8)$$

де $\bar{\omega}, \bar{C}, \bar{R}$ – відповідають глибині \bar{h}

$$\left. \begin{aligned} \bar{\omega} &= 0.5(\omega_1 + \omega_2) = \bar{h} \cdot \epsilon_x \\ \bar{R} &= 0.5(R_1 + R_2) = \bar{\omega} / \bar{\chi} \\ \bar{C} &= 0.5(C_1 + C_2) = \frac{1}{n} \bar{R}^{1/6} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Значення гідравлічного показника русла x для прямокутного русла можна визначити за формулою Р.Р. Чугаєва

$$x = 3,4 - \frac{2,8}{\frac{b}{\bar{h}} + 2} \quad (3.10)$$

Весь розрахунок, як правило, ведуть у табличній формі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1.

$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$C, \text{ м}^{0,5/\text{с}}$	j	\bar{j}	$\varphi(\eta)$	$l, \text{ м}$

Розрахунки проводять до досягнення $l_i \geq L_B$. За даними таблиці 3.1 будують графік $h = f(l)$, (рис. 3.3) з якого знімають

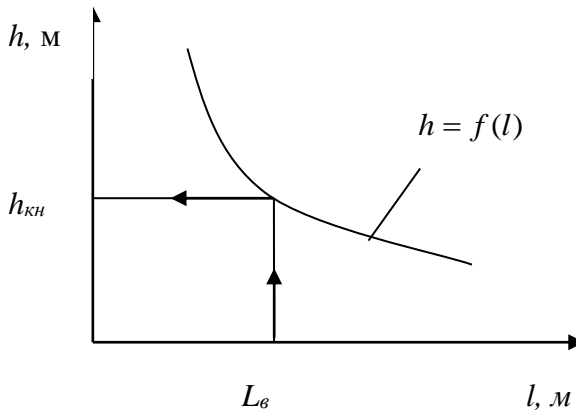


Рис. 3.3. Графік $h = f(l)$

$h_{кн}$.

Глибину в кінці лотоки короткого бистротока можна знайти методом послідовних наближень із першого рівняння теорії спряження б'єфів

$$h_{кн} = h_c = \frac{Q_H}{\varphi_c b_l \sqrt{2g(T_0 - h_c)}}, \quad (3.11)$$

де φ_c – коефіцієнт швидкості, який визначається за формулою

$$\varphi_c = 1 - (0,038 - 0,05 \cdot i_l) \frac{P}{h_k}, \quad (3.12)$$

T_0 – повна питома енергія потоку у верхньому б'єфі по відношенню до дна нижнього б'єфу

$$T_0 = P + H_0. \quad (3.13)$$

6. Після знаходження глибини в кінці лотоки, приймають її рівною стисненій глибині, тобто $h_c = h_{кн}$ і за формулою (2.20) знаходять спряжену з нею h_c'' . Якщо $h_c'' > h_0 = h_n$, тобто глибині води в магістральному каналі, то спряження б'єфів відбуватиметься у формі відігнутого гідравлічного стрибка, чого допускати не можна.

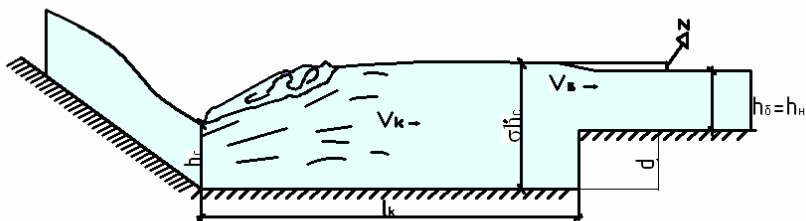


Рис. 3.4. Схема до розрахунку водобійного колодзя

7. Визначають розміри гасителя енергії. Якщо гасителем енергії буде суцільна водобійна стінка, то її висота визначається методом послідовних наближень (див. розділ 2). Водобійний

колодязь як гаситель енергії за бистротоком, розраховується за одне наближення. Глибину колодязя визначають за формулою

$$d = \sigma \cdot h_c'' - h_H - \Delta z, \quad (3.14)$$

де $\sigma = 1,05 \dots 1,10$ – коефіцієнт затоплення гідравлічного стрибка;
 Δz – гідравлічний перепад на виході із колодязя (рис. 3.4);

$$\Delta z = \frac{V_B^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2} - \frac{\alpha \cdot V_k^2}{2g}; \quad (3.15)$$

$V'_\sigma = V_0$ – середня швидкість потоку в каналі;

V_k – середня швидкість потоку у водобійному колодязі

$$V_k = \frac{Q_H}{b_n \cdot \sigma \cdot h_c''}, \quad (3.16)$$

$\varphi = 0,95 - 0,97$ – коефіцієнт швидкості.

Довжину водобійного колодязя визначаємо за залежністю

$$l_k = \beta \cdot l_{rc}, \quad (3.17)$$

де $\beta = 0,7 \dots 0,8$ – коефіцієнт, який показує зменшення довжини затопленого гідравлічного стрибка перед виступом дна;

l_{zc} – довжина досконалого гідравлічного стрибка, яка може бути обчислена за формулою С.К. Кузнецова

$$l_{zc} = 16,7(h_K - h_c), \quad (3.18)$$

h_k – критична глибина.

3.2. Розрахунок консольних перепадів

Консольний перепад – це спрягаюча споруда, в якій частину загального перепаду місцевості потік долає, рухаючись у лотоці бистротока, а решту у вільному польоті (рис. 3.5).

Вихідні дані: витрата Q_H , похил лотоки бистротока i_l , перепад місцевості, який долається в лотоці бистротока P , різниця відміток кінця консолі і дна нижнього б'єфу P_k , похил консолі i_k , глибина води в нижньому б'єфі $h_\sigma = h_H = h_0$, глибина води у верхньому б'єфі $H = h_0$.

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини.
2. Визначити глибину потоку в кінці консолі.
3. Розрахувати дальність відльоту струмینی.
4. Обчислити розміри воронки розмиву.
5. Накреслити в масштабі поздовжній розріз споруди.

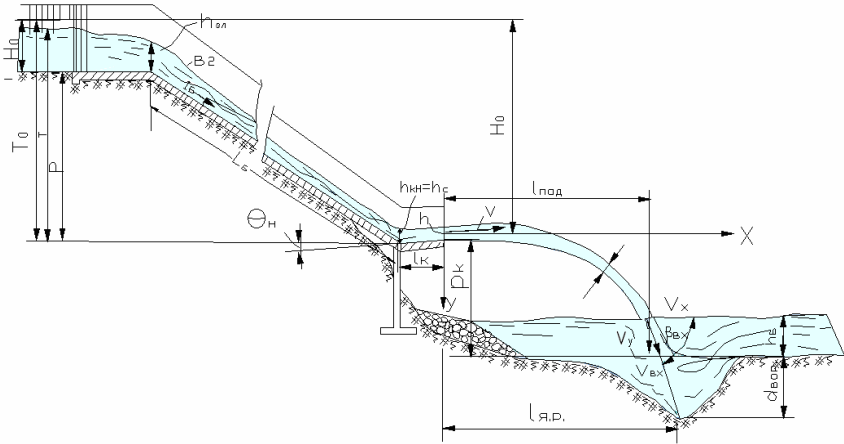


Рис 3.5. Схема до розрахунку консольного перепаду

Перші дві позиції складу розрахунку не відрізняються від аналогічних при розрахунку бистротоків (див. 3.1.1 та 3.1.2).

3.2.1. Розрахунок дальності відльоту струмینی

Знайдену глибину в кінці лотоки бистроточка $h_{kn} = h$ переносять на кінець консолі і позначають h . Траєкторія струмینی визначається системою параметричних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x &= V \cdot t \cdot \sqrt{1 - i_k^2} \\ y &= \frac{gt^2}{2} - V \cdot t \cdot i_k \end{aligned} \right\}, \quad (3.19)$$

де $V = Q_H / b_L$ – середня швидкість потоку на кінці консолі.

Побудувати траєкторію струмینی за рівнянням (3.19) можна задаючись часом t . Дальність відльоту струмینی l_{nad} (до зустрічі із вільною поверхнею нижнього б'єфу), можна знайти за формулою

$$l_{nad} = 2\varphi^2 H_{0_1} \sqrt{1 - i_k^2} \left(\sqrt{i_k^2 + \frac{P_k + 0.5h - h_{\bar{o}}}{\varphi^2 H_{0_1}}} + i_k \right), \quad (3.20)$$

де φ – коефіцієнт швидкості, який визначають за формулою (3.12) $H_{0_1} = H_0 + P$ (див. рис. 3.5).

3.2.2. Визначення розмірів воронки розмиву

Глибину воронки розмиву можна визначити за формулою

$$d_{вор} = \frac{N \cdot q \cdot \sin \beta_{BX}}{\sqrt{V_{BX} \cdot V_{HEP}}} - h_{\bar{o}}, \quad (3.21)$$

де $q = \frac{Q_H}{b_a}$ – питома витрата на одиницю ширини консолі;

N – параметр, який змінюється в залежності від

$$z = P_k - h_{\bar{o}}; \quad N = 4.3 \dots 5.8, \quad \text{при } z = 2 \dots 8 \text{ м};$$

β_{BX} – кут входу струмینی у потік нижнього б'єфу

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{V_y}{V_x}, \quad (3.22)$$

$$V_x = V \sqrt{1 - i_k^2}, \quad (3.23)$$

$$V_y = \varphi \sqrt{2g(P_k + 0.5h - h_{\bar{o}})}; \quad (3.24)$$

V_{BX} – середня швидкість потоку у точці зустрічі з потоком нижнього б'єфу

$$V_{BX} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \quad (3.25)$$

$V_{нер}$ – допустима нерозмиваюча швидкість для ґрунтів русла нижнього б'єфу (див. розділ I).

Ширину воронки розмиву потоку у напрямку руху потоку можна знайти орієнтовно за формулою

$$b_{вор} = \frac{q}{v_{нер}}, \quad (3.26)$$

а по верху

$$B_{вор} = b_{вр} + 2md_{вор}, \quad (3.27)$$

де m – коефіцієнт бокового укосу бокових схилів воронки (може бути в першому наближенні, як для магістрального каналу).

Віддаль від кінця консолі до осі дна воронки розмиву можна знайти за формулою (рис. 3.5)

$$l_{я.р.} = l_{над} + (d_{вор} + h_{\sigma}) / tg\beta. \quad (3.28)$$

3.3. Розрахунок багатосхідчастих перепадів колодезяного типу

Багатоступінчасті перепади – це спрягаючі споруди рухаючись у яких, потік води долає перепад місцевості, падаючи із східця на східець. Якщо в кінці кожного східця влаштовується водобійна стінка, то такі перепади називають колодезяними.

В курсовій роботі для розрахунку багатосхідчастих колодезяних перепадів задані: Q_n – витрата МК; перепад місцевості P , параметри живого перерізу потоку МК, ширина по дну, глибина при рівномірному русі $h_0=h_{\sigma}=h_n$, коефіцієнт бокових укосів каналу m_k .

Склад розрахунку :

1. Визначити ширину вхідної частини.
2. Визначити кількість східців (ступенів) перепаду.
3. Визначити розмір східців перепаду.
4. Визначити форму спряження б'єфів за перепадом.
5. Розрахувати розміри гасителя енергії та довжину кріплення русла.
6. Накреслити в масштабі поздовжній розріз споруди.

Розрахунки вхідної частини перепаду нічим не відрізняються від розрахунку вхідної частини бистротока (див. п. 3.1).

3.3.1. Визначення кількості східців колодезяного перепаду

Висоту східця колодезяного перепаду [5] приймають в межах $p=(1,5...5)h_k$ або $p=2...3$ м (рис. 3.6). Критичну глибину h_k визначають за формулами (2.9) при ширині перепаду рівній

2. Обчислюють h_{c1}'' спряжену із h_{c1} за формулою (2.20).

3. Методом послідовних наближень визначають висоту водобійної стінки в кінці східця c_1 , як невідтопленого водозливу з тонкою стінкою за формулами (2.21), (2.22), (2.26), при $\sigma_n = 1,0$.

4. Довжину східця визначають за формулою

$$\ell_{cx} = \ell_e + \beta \cdot \ell_{zc1},$$

де ℓ_e – дальність відльоту струмини від уступа

$$\ell_e = 1,65h_k + 0,7p + 1,5h_c;$$

$\beta = 0,7 \dots 0,8$ (див. п. 3.1), ℓ_{zc} за формулою (3.18), а h_k за формулою (2.9).

На цьому розрахунок 1-го східця завершений.

Розрахунок 2-го східця

Цей розрахунок ведуть у такій же послідовності як і 1-го східця, лише підставляють значення

$$T_{02} = p + c_1 + H_1 + \frac{\alpha V_{01}^2}{2g} = p + \sigma \cdot h_{c1}'' + \frac{\alpha V_{01}^2}{2g}, \quad (3.32)$$

в формулу (3.11), $p+c_1$ у формули (3.30) та (3.32), $V_{01} = Q_n / \epsilon \cdot \sigma \cdot h_{c1}''$.

3.3.3. Визначення форми спряження б'єфів за перепадом

Це фактично розрахунок останнього східця. Вихідними даними для розрахунку є :

$$T_0 = p + c_2 + H_2 + \frac{\alpha V_{02}^2}{2g}, \quad (3.33)$$

$$V_{02} = Q_n / \epsilon \cdot \sigma \cdot h_{c2}'', \quad (3.34)$$

$$h_e = h_n = h_0.$$

Підрахунки ведуть у такій послідовності :

1. Відшуковують методом послідовних наближень глибину h_c у стисненому перерізі за перепадом так як і на будь-якому східці.

2. Обчислюють глибину h_c'' , спряжену з h_c .

3. Порівнюють h_c'' і h_6 . При $h_c'' > h_6$ – маємо форму спряження б'єфів у вигляді відігнутого гідравлічного стрибка. В такому випадку необхідно запроектувати гаситель енергії.

3.3.4. *Визначення розмірів гасителя енергії за перепадом та довжини кріплення русла*

Розглянемо розрахунок гасителя енергії у вигляді водобійного колодязя. Його виконують у такій послідовності:

1. Визначають в першому наближенні, глибину водобійного колодязя d_1 за формулою

$$d_1 = (1,2 \dots 1,25) \cdot h_c'' - h_6. \quad (3.35)$$

2. Підставляючи у формулу (3.30) $p+d_1$, визначають φ_c , а у формулу (3.11) $T_0 = p + d_1 + \sigma \cdot h_{c2}'' + \frac{\alpha \cdot v_{02}^2}{2g}$, і визначають нове

значення стисненої глибини h_{c1} на дні колодязя.

3. Визначають h_{c1}'' , спряжену з h_{c1} .

4. Визначають гідравлічний перепад на виході із колодязя Δz_1 за формулою (3.15).

5. Визначають глибину колодязя у другому наближенні

$$d_2 = \sigma \cdot h_{c1}'' - h_6 - \Delta z_1, \quad (3.36)$$

Якщо, $\frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100 \leq 3\%$, то $d_2 \approx d$, а якщо ні, то роблять третє

наближення у такій же послідовності підставляючи у формули d_2 замість d_1 . Потім визначають відхилення d_3 від d_2 . Як правило $d_3 \approx d_2$.

6. Довжину водобійного колодязя визначають за формулою (3.31), а довжину кріплення русла за (2.28).

4. РОЗРАХУНОК ВОДОЗЛИВНОЇ ГРЕБЛІ

Основним призначенням водозливних гребель у складі гідровузла є пропуск повеневих вод – коли гребінь (поріг) водозливу розміщений на рівні поверхні водосховища. У випадку, коли на гребені, для підтримання рівня водосховища розміщені затвори (щити), водозливна гребля може використовуватись для санітарних попусків води або пропуску меженних витрат .

Вихідними даними для розрахунку водозливної греблі у курсовій роботі є: Q_{max} – максимальна витрата, м³/с; питома витрата на рисбермі q , висота водозливу з боку нижнього б'єфу P_n , параметр параболи русла річки p та похил дна русла i .

Склад розрахунку:

1. Побудувати графік залежності $Q = f(h)$ для параболічного русла річки (рис. 4.1).
2. Визначити ширину водозливного фронту греблі.
3. Визначити розрахункову витрату спр'яження б'єфів.
4. Розрахувати гаситель енергії і довжину кріплення русла за ним.

4.1. Побудова графіка $Q = f(h)$ для параболічного русла річки

Це, фактично, є розрахунки русла ріки на рівномірний рух. Розрахунки ведуться у такій послідовності :

1. Задається глибина h послідовно обчислюють [5]
 1. Довжину змочуваного периметра χ за формулою

$$\chi = p \left[\sqrt{2 \frac{h}{p} \left(1 + 2 \frac{h}{p} \right)} + \ln \left(\sqrt{2 \frac{h}{p}} + \sqrt{1 + 2 \frac{h}{p}} \right) \right]. \quad (4.1)$$

2. Ширину потоку зверху B
$$B = 2\sqrt{2ph}. \quad (4.2)$$

3. Площу живого перерізу ω
$$\omega = \frac{2}{3} Bh. \quad (4.3)$$

4. За формулою (1.3), (1.6), (1.15), (1.1) послідовно визначають R , C , V , Q .

Всі розрахунки, як правило, ведуть у форму таблиці 4.1.
 5. За даними таблиці 4.1 будують графік $Q = f(h)$ (рис. 4.1).

Таблиця 4.1.

$h_i, \text{ м}$	$\chi, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	$V, \text{ м}/\text{с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$
h_k	χ_k	ω_k	c_1 c_n	V_1 V_k	Q_1 $Q_n > Q_{\max}$

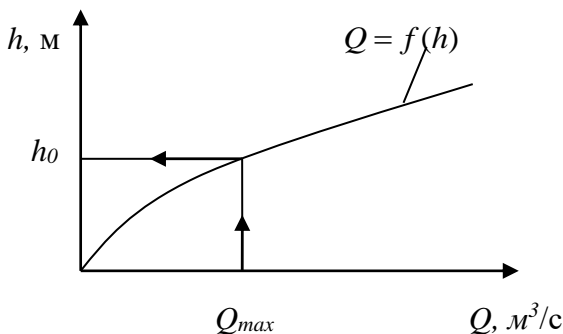


Рис. 4.1. Графічна залежність $Q = f(h)$

Виконують розрахунки за такою схемою:

Виконують перше наближення.

1. Приймають питому витрату на водозливі

$$q_e = 1,2 \cdot q_p. \quad (4.4)$$

2. Визначаємо повну ширину водозливної греблі при Q_{\max}

$$B_z = Q_{\max} / q_e. \quad (4.5)$$

3. Обчислюємо наближено максимальну величину напору на водозливі

$$H_{\max} = \left(\frac{q_e}{m\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4.6)$$

де $m = 0,49$ – коефіцієнт витрати.

4. Приймаємо ширину одного прогону водозливу

$$e = (2...3) \cdot H_{\max} \quad (4.7)$$

та товщину биків

$$\delta = (0,2...0,3) \cdot e.$$

5. Визначаємо кількість прогонів на водозливні за формулою

$$n = (B_2 + \delta) / (\delta + e) \quad (4.8)$$

6. Приймаємо стандартну ширину одного прогону $e = 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24$ м і визначаємо довжину водозливного фронту (рис.4.2),

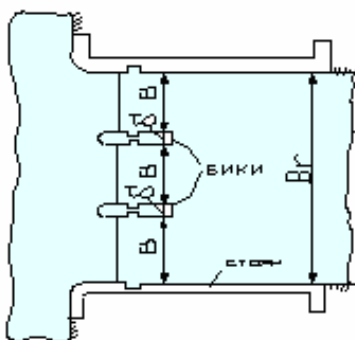
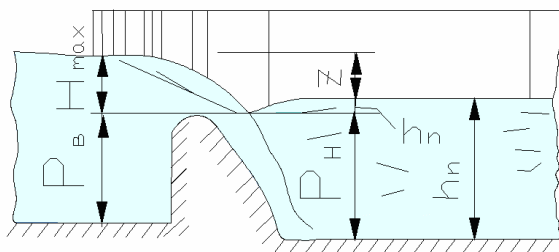


Рис 4.2. Визначення ширини водозливного фронту греблі

$$B = e \cdot n, \quad (4.9)$$

а також повну ширину греблі

$$B_2 = B + (n - 1) \cdot \delta = n \cdot e + (n - 1) \cdot \delta. \quad (4.10)$$

Друге наближення.

1. Визначаємо глибину підтоплення

$$h_n = h_n - P_n. \quad (4.11)$$

2. Визначаємо гідравлічний перепад на греблі

$$Z = P_n + H_{\max} - h_H. \quad (4.12)$$

Якщо $h_H > 0$, а

$$z / P_n < \left(\frac{z}{P_n} \right), \quad (4.13)$$

то водозливна гребля підтоплена;

$$\left(\frac{z}{P} \right)_K = f \left(\frac{H_{\max}}{P_n}; m_0 \right) [5,6,7], \text{ для попередніх розрахунків}$$

$$\left(\frac{Z}{P} \right)_K \approx 0,75.$$

3. Якщо виконується умова (4.13), то коефіцієнт підтоплення σ_{II} визначаємо за формулою (2.24), замінивши c на P_n , Δz на z і H на H_{\max} ; $\sigma_{II} = 1$, якщо умова (4.13) не виконується.

4. Приймаємо коефіцієнт бокового стиснення $\varepsilon = 0,96 \dots 0,97$.

5. Визначаємо максимальний напір з врахуванням швидкості підходу

$$H_{0\max} = \left(\frac{Q_{\max}}{m \cdot \varepsilon \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (4.14)$$

Третє наближення.

1. Приймаємо профілюючий напір $H_{np} = H_{0\max} \approx H$, тобто нехтуємо швидкістю підходу V_0 до греблі за координатами Крігера-Офіцєрова [5, 6, 7] будуюмо профіль водозливу.
2. Уточнюємо коефіцієнт підтоплення σ_n .
3. Приймають форму биків і стоянів у плані та визначають окремо коефіцієнти бокового стиснення прогонів

обмежених биками та стоянами, та визначають коефіцієнти бокового стиснення для всього водозливу (п. 2.1)

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot \frac{\varepsilon_c + (n-1) \cdot \varepsilon_b}{n} \cdot \frac{H}{\delta} \quad (4.15)$$

4. Визначаємо точніше коефіцієнт витрати водозливу

$$m = m_{np} \cdot \sigma_n \cdot \sigma_{\text{щ}} \cdot \sigma_{\phi} \quad (4.16)$$

де $m_{np} = 0,504$ – зведений коефіцієнт витрати;

$\sigma_n, \sigma_{\text{щ}}, \sigma_{\phi}$ – відповідно коефіцієнти повноти напору, опору бокових конструкцій щитів, форми водозливу

$$\sigma_n = 0,62 + 0,38 \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{H_{np}}} \quad (4.17)$$

$$\sigma_{\text{щ}} = 0,975 \cdot 0,995,$$

σ_{ϕ} – беруть з довідкової літератури [5, 6, 7].

5. Остаточо визначають повний напір над порогом водозливної греблі

$$H_{0_{\max}} = \left(\frac{Q_{\max}}{\varepsilon \cdot m \cdot \sigma_n \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{та приймають } H_{0_{\max}} \approx H.$$

4.2. Визначення розрахункової витрати спряження б'єфів за водозливною греблею

Розрахунок ведуть в наступній послідовності (рис. 4.3):

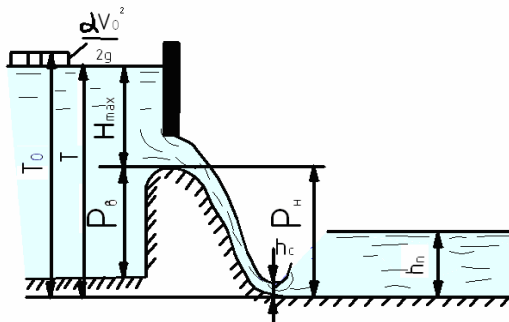


Рис. 4.3

1. Задаються величиною напору на гребені водозливу в межах від 0 до H_{\max} , як правило з постійним інтервалом $H_i = k_i \cdot H_{\max}$, $k_i = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1$ при $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

2. За формулою (4.17) визначають σ_{ni} , за формулою (4.16) при $\sigma_\phi = 1, \sigma_{\omega} = const$, визначають m_i .

3. За формулою (4.15) визначають ε_i .

4. ($\sigma_n = 1,0$). Вважаючи водозлив не підтопленим визначаємо витрату

$$Q_i = \varepsilon_i \cdot m_i \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot H_i^{\frac{3}{2}}. \quad (4.18)$$

5. За залежністю (2.9) обчислюють h_{κ_i} – критичну глибину.

6. Методом послідовних наближень із рівняння (3.11), при $T_{01} = P_n + H_i$ та φ_{ci} , знайдене за формулою

$$\varphi_{ci} = 0,94 + 0,184 \cdot \lg \frac{H_i}{P_n} \quad (4.19)$$

знаходять глибину в стисненому перерізі h_{ci} .

7. За формулою (2.2) визначають h_{ci}'' .

8. За графіком $Q = f(h)$ (рис. 4.1) визначають глибину води в нижньому б'єфі h_{ni} відповідну Q_i .

9. Визначають різницю ($h_{ci}'' - h_{ni}$) витрата Q_i , яка відповідатиме найбільшій додатній різниці і буде розрахунковою витратою спряження б'єфів Q_p за греблею.

Весь розрахунок зручно вести в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

$H, \text{ м}$	σ_n	m	ε	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$h_{\kappa}, \text{ м}$	$h_c, \text{ м}$	$h''_c, \text{ м}$	$h_n, \text{ м}$	$h''_c - h_n, \text{ м}$

4.2. Визначення розмірів гасителя енергії та довжини кріплення русла

Всі необхідні дані для визначення розмірів гасителя енергії б'єфів беруть для розрахункової витрати спряження б'єфів із таблиці 4.2.

Якщо гасителем енергії проектується суцільна водобійна стінка, то її розрахунок розглянутий в п. 3.3, а якщо водобійний колодязь, то методика його розрахунку наведена в п. 3.4. Довжину кріплення русла (рис. 4.4) за гасителем енергії (довжину рисберми L_p) можна визначити за формулою С.К. Кузнецова

$$L_p = 12h_n \left(\frac{v_k - 1,02 \cdot v}{v_k - 0,85 \cdot v} \right)^{2,4}, \quad (4.20)$$

де $h_n = h = h_b$ – глибина в нижньому б'єфі за греблею, відповідна розрахунковій витраті спряження б'єфів Q_p ;

V_k – середня швидкість потоку при критичній глибині

$$V_k = Q_p / \omega_k; \quad (4.21)$$

ω_k – площа живого перерізу потоку з глибиною h_k

$$\omega_k = B_r \cdot h_k; \quad (4.22)$$

V – середня швидкість потоку в нижньому б'єфі

$$V = Q_p / \omega_n. \quad (4.23)$$

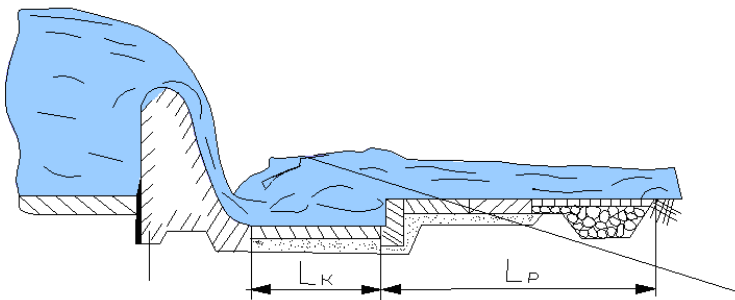


Рис. 4.4. Схема до розрахунку водобійного колодязя за греблею

СХЕМА ГІДРОВУЗЛА

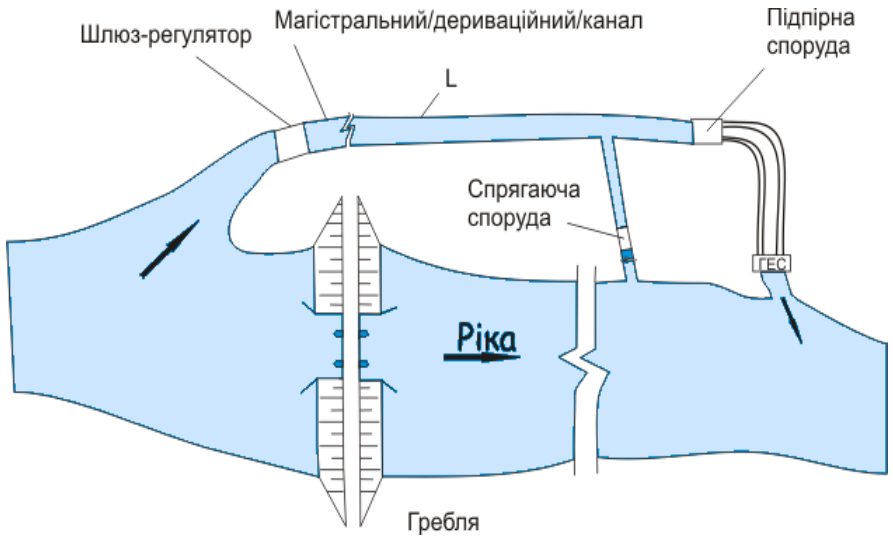


Рис. 5.1

Призначення споруд, вказаних на схемі рис. 5.1.

1. Шлюз-регулятор призначений для забору заданої витрати в межах $0 \leq Q \leq Q_n$.
2. Магістральний (МК) деривацій (ДК) канал призначений для транспортування води споживачам.
3. Спрягаючі споруда (бистроток, консольний скид, перепад) призначена для спряження б'єфів на ділянці різкого падіння траси каналу.
4. Водозливна гребля призначена для пропуску побутових і повеневих витрат по річці.

ВИБІР ВИХІДНИХ ДАНИХ

Студент вибирає вихідні дані для виконання курсової роботи з таблиць 1 і 2. Вихідні дані вибираються за двома останніми цифрами номера залікової книжки (студентського квитка).

Наприклад: В студента дві останні цифри залікової книжки (студентського квитка) – 13.

Згідно з цими цифрами вихідні дані для виконання курсової роботи будуть.

РОЗДІЛ I

Витрата в магістральному каналі $Q_n = 28 \text{ м}^3/\text{с}$.

Похил дна каналу $i = 0,15\% = 0,00015$ (див. додаток 1).

Питоме зчеплення ґрунту в якому проходить канал $C = 0,02 \text{ кг/см}^2$ (див. додаток 2 за останньою цифрою номера залікової книжки).

Мутність потоку $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Питома вага ґрунту $\gamma_2 = 2,78 \text{ т/м}^3$.

Механічний склад наносів по фракціям d , мм (див. додаток 3 за останньою цифрою номера залікової книжки):

Діаметр фракцій, мм	0,5 – 0,25	0,25 – 0,10	0,10 – 0,05	0,05 – 0,02	0,02 – 0,01
Вміст фракцій, в %	8	12	40	20	20

РОЗДІЛ II

Гідравлічний перепад шлюза-регулятора $z = 8 \text{ см}$.

РОЗДІЛ III

Тип спрягаючої споруди B – бистроток.

Перепад місцевості між дном верхнього і нижнього б'єфів бистроточка $\mathcal{P} = 15 \text{ м}$

Похил лотоки бистроточку $i_l = 17\% = 0,17$

РОЗДІЛ IV

Питома витрата на рисбермі $q = 12,0 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{м}$.

Максимальна витрата через греблю $Q_{max} = 950 \text{ м}^3/\text{с}$.

Висота водозливу з боку нижнього б'єфу $P_n = 10 \text{ м}$.

Параметр параболи русла ріки $P = 60 \text{ м}$.

Похил дна русла ріки в районі греблі $i = 0,4\text{‰} = 0,0004$.

У випадку, коли спрягаюча споруда буде перепад (П), то відсутній буде похил i_l , коли буде консольний скид (КС), то потрібно додатково взяти: різницю відміток кінця консолі і дна нижнього б'єфу P_k , а також похил носка консолі i_n .

ЗМІСТ РОЗРАХУНКІВ ТА НЕОБХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ЇХ ВИКОНАННЯ

РОЗДІЛ I. Гідравлічний розрахунок магістрального або дериваційного каналу при рівномірному русі

(Вихідні дані згідно прикладу)

Дано: Витрата Q_n , похил дна каналу i , розрахункове зчеплення ґрунту C , мутність потоку ρ , механічний склад наносів; питома вага ґрунту γ_s .

Склад розрахунку:

1. Визначити параметри поперечного перерізу трапецеїдального каналу: ширину по дну b , глибину h , коефіцієнт закладення схилу m .
2. Побудувати графіки $Q=f_1(h)$; $V=f_2(h)$, також уточнити за графіками глибину наповнення каналу h_0 і дійсну середню швидкість потоку V .
3. Зробити перевірку каналу на розмив і замулення та визначити транспортуючу здатність потоку.
4. Накреслити в масштабі поперечний переріз каналу.

РОЗДІЛ II. Гідравлічний розрахунок шлюза-регулятора на магістральному каналі

(Розрахунок шлюза-регулятора на магістральному каналі виконують лише студенти спеціальності 6.092.600)

Дано: Розрахункова витрата Q_n , гідравлічний перепад z , глибина води в нижньому б'єфі h_b (вона дорівнює нормальній глибині в магістральному каналі h_0). Розміри поперечного перерізу МК (ДК) див розділ 1.

Склад розрахунку:

1. Визначити геометричну ширину і число прогонів шлюза-регулятора.
2. Визначити форму спряження б'єфів і розрахункову витрату спряження б'єфів.
3. Розрахувати гаситель енергії і визначити довжину кріплення нижнього б'єфу.

РОЗДІЛ III. Розрахунок спрягаючої споруди на каналі (розраховується студентом та споруда, яка відповідає двом останнім цифрам залікової книжки)

- 3.1. Розрахунок бистротока

Дано: Розрахункова витрата $Q=Q_n$, похил лотоки i_l , перепад місцевості P , глибина у верхньому б'єфі $H=h_0$ (h_0 – нормальна глибина в каналі).

Склад розрахунку:

1. Визначити ширину вхідної частини.
2. Визначити глибину в кінці бистротока.
3. Визначити форму спряження б'єфів.
4. Розрахувати гаситель енергії та довжину кріплення русла за ним.
5. Накреслити в масштабі поздовжній розріз бистротока.

3.2. Розрахунок консольного скиду

Дано: Розрахункова витрата $Q=Q_n$; похил лотоки i_l ; перепад місцевості, який потік долає в лотоці P ; різниця відміток кінця консолі і дна нижнього б'єфу P_k ; похил консолі i_k ; глибина води в нижньому б'єфі $h_6= h_0$ (h_0 – нормальна глибина в каналі); глибина води у верхньому б'єфі $H=h_0$.

Склад розрахунку:

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

3.3. Розрахунок східчастого перепаду колодязного типу

Дано: Розрахункова витрата $Q=Q_n$; перепад місцевості P ; глибина у верхньому б'єфі $H=h_0$; в нижньому $h_6= h_0$ (h_0 – нормальна глибина в 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.

РОЗДІЛ IV. Розрахунок водозливної греблі

Дано: Питома витрата на рисбермі q , максимальна витрата через греблю Q_{max} , висота водозливу з боку нижнього б'єфу P_n параметр параболи русла ріки p , похил дна русла i .

Склад розрахунку:

1. Побудувати криву $Q = f(h_\delta)$ 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Гідравліка» на тему: «Гідравлічний розрахунок відкритих русел та гідротехнічних споруд» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Гідротехнічне будівництво», «Водна інженерія та водні технології», «Гідроінформатика» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» денної, заочної та дистанційної форм навчання. / Мельничук І. М. Рівне : НУВГП, 2019. 51 с. 01-04-106.
2. Силабус навчальної дисципліни «Гідравліка» для здобувачів вищої освіти першого(бакалаврського) рівня, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології», спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології». Рівне : НУВГП, 2022. 19 с. 01-04-20S.
3. Дідур В. А., Журавель Д. П. Технічна механіка рідини і газу: підручник для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти. Мелітополь : ТОВ «Колор Принт», 2019. 476 с.
4. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу : підручник. Рівне : РДТУ, 2000. 520 с.
5. Рогалевич Ю. П. Гідравліка : підручник. Київ : Вища школа, 2010. 255 с.
6. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу в тестах і задачах : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 194 с.
7. Луценко В. В. Технічна механіка рідини і газу : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 128 с.

Додаток 1. Вихідні дані для розрахунку (за двома останніми цифрами номера залікової книжки)

Ши фр	МК/ДК		z, см	Спрягаюча споруда			Гребля q , м ³ /с·м
	Q_n , м ³ /с	i , ‰		Тип спрягаючої споруди	P , м	i_n , ‰	
1	2	3	4	5	6	7	8
0	10	0,1	5	П	3	-	8
1	13	0,12	6	Б	4	3	9
2	17	0,11	7	КС	5	4	10
3	22	0,13	8	П	6	-	11
4	28	0,14	9	Б	7	4	12
5	21	0,15	10	КС	8	5	13
6	25	0,16	11	П	9	-	14
7	22	0,17	12	Б	10	7	15
8	35	0,18	13	КС	10	8	16
9	33	0,19	14	П	11	-	17
10	15	0,12	6	Б	12	10	9
11	17	0,13	6	КС	13	15	10
12	22	0,14	7	П	14	-	11
13	28	0,15	8	Б	15	17	12
14	32	0,20	9	КС	14	17	13
15	24	0,21	10	П	13	-	14
16	28	0,22	11	Б	12	16	15
17	32	0,23	18	КС	11	15	16
18	25	0,16	5	П	10	-	17
19	14	0,16	6	Б	15	20	18
20	20	0,17	10	КС	14	19	10
21	23	0,18	10	П	13	-	11

1	2	3	4	5	6	7	8
22	24	0,19	11	Б	14	17	12
23	26	0,20	12	КС	12	16	13
24	28	0,21	13	П	12	-	14
25	17	0,22	14	Б	11	14	15
26	21	0,23	15	КС	11	13	16
27	23	0,24	16	П	10	-	17
28	26	0,25	17	Б	9	10	18
29	27	0,26	18	КС	8	11	19
30	25	0,13	12	КС	7	10	11
31	20	0,15	8	П	6	-	12
32	21	0,16	9	Б	6	10	13
33	20	0,17	10	КС	7	5	14
34	22	0,18	11	П	7	-	15
35	29	0,19	12	Б	8	6	16
36	24	0,20	14	КС	8	7	17
37	25	0,22	17	П	8	-	18
38	27	0,24	19	Б	9	8	19
39	25	0,26	21	КС	9	9	20
40	10	0,14	14	П	9	-	12
41	11	0,25	14	Б	10	10	11,5
42	22	0,27	15	КС	10	10	12,5
43	24	0,29	16	П	10	-	13,5
44	25	0,31	20	Б	11	10	14,5
45	26	0,32	21	КС	11	10	15,5
46	27	0,33	19	П	11	-	16,5
47	28	0,34	18	Б	12	11	17,5
48	31	0,35	17	КС	12	10	18,5

1	2	3	4	5	6	7	8
49	32	0,36	18	П	12	-	19,5
50	23	0,15	16	Б	13	9	13
51	21	0,26	19	КС	13	15	10,5
52	20	0,27	18	П	13	-	11,5
53	21	0,28	19	Б	14	14	12,5
54	27	0,29	20	КС	14	13	13,5
55	26	0,32	19	П	14	-	14,5
56	27	0,34	17	Б	15	15	15,5
57	21	0,29	15	КС	15	20	16,5
58	20	0,27	16	П	15	-	17,55
59	28	0,25	17	Б	15	20	18,5
60	26	0,16	18	Б	15	25	14
61	27	0,21	13	КС	10	30	9,5
62	25	0,23	14	П	10	-	10,5
63	24	0,24	16	Б	10	20	11,5
64	23	0,25	15	КС	10	25	12,5
65	25	0,24	14	П	12	-	13,5
66	21	0,20	13	Б	12	12	14,5
67	20	0,19	12	КС	12	14	15,5
68	19	0,28	12	П	13	-	16,5
69	18	0,17	10	Б	11	10	17,5
70	28	0,30	20	КС	11	15	15
71	25	0,29	10	П	11	-	8,5
72	24	0,22	9	Б	10,5	16	9,5
73	23	0,19	8	КС	10,5	21	10,5
74	22	0,18	10	П	10,5	-	11,5
75	19	0,17	9	Б	7,4	8	12,5

1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8
76	18	0,16	8	КС	7,4	18	13,5
77	17	0,15	7	П	7,4	-	14,5
78	20	0,14	12	Б	6,5	22	15,5
79	21	0,13	13	КС	6,5	25	16,5
80	22	0,17	7	П	6,5	-	16
81	23	0,12	5	Б	5,5	12	7,5
82	24	0,13	6	КС	5,5	15	8,5
83	25	0,13	7	П	5,5	-	9,5
84	26	0,14	8	Б	5,0	15	10,5
85	27	0,15	9	КС	5,0	16	11,5
86	28	0,16	8	П	5,0	-	12,5
87	29	0,17	10	Б	4,0	15	13,5
88	25	0,18	12	КС	4,0	18	14,5
89	26	0,19	11	П	4,0	-	15,5
90	27	0,18	10	Б	6,6	9	17
91	28	0,21	10	КС	6,6	12	18
92	29	0,22	9	П	6,6	-	17
93	25	0,15	8	Б	5,4	10	16
94	26	0,24	15	КС	5,4	10	10
95	27	0,22	14	П	5,4	-	13
96	28	0,20	16	Б	5,8	12	14
97	29	0,19	14	КС	5,8	14	12
98	30	0,18	15	П	5,8	-	10,5
99	31	0,19	13	КС	9,5	30	18

Додаток 2
Вихідні дані для розрахунку (за останньою цифрою залікової книжки)

Варіанти		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розділ I	$C, 10^5 \text{ Па}$	0,075	0,005	0,010	0,020	0,030	0,005	0,0010	0,020	0,030	0,010
	Мутність $\rho, \text{ кг/м}^3$	0,5	0,8	2,0	1,2	1,6	2,4	2,8	3,0	2,6	2,2
	Питома вага ґрунту $\gamma_s, \text{ т/м}^3$	2,84	2,82	2,80	2,78	2,75	2,72	2,70	2,68	2,66	2,64
Розділ III	$i_l, \%$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15
	$P_k, \text{ м}$	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
Розділ IV	$Q_{max}, \text{ м}^3/\text{с}$	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500
	$P_n, \text{ м}$	14,5	12,5	14	10	12	11	13	15	16	8
	Параметри параболи $p, \text{ м}$	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
	Похил дна русла $i, \%$	0,20	0,23	0,30	0,40	0,31	0,32	0,27	0,21	0,24	0,31

Додаток 3

Механічний склад мутності води в водосховищ (за останньою цифрою залікової книжки)

Варіанти		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр фракцій, мм	0,5-0,25	10	5	10	8	4	6	7	7	9	12
	0,25-0,1	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	10	11	25