

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ФАКУЛЬТЕТ АРХІТЕКТУРИ, БУДІВНИЦТВА ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ
Кафедра будівництва, геотехніки геомеханіки

І.В. Чушкіна
В.В. Янко
Г.П. Іванова

ГІДРОТЕХНІЧНІ БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра
освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна
інженерія та водні технології»
зі спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні
технології

Дніпро
НТУ «ДП»
2025

Гідротехнічні будівлі та споруди [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» зі спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / уклад.: І.В. Чушкіна, В.В. Янко, Г.П. Іванова ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2025. – 42 с.

Укладачі:

І.В. Чушкіна, канд. техн. наук, доц.

В.В. Янко, канд. техн. наук, доц.

Г.П. Іванова, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології (протокол № 4 від 25.04.2025) за поданням кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки (протокол №12 від 22.04.2025 р.).

Уміщено відомості виконання практичних та самостійних робіт, варіанти практичних завдань з рекомендаціями до їх виконання, контрольні питання, список рекомендованої літератури.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» зі спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології та закріплення практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Гідротехнічні будівлі та споруди».

Відповідальний за випуск завідувач кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки С.М. Гапєєв, д-р техн. наук, проф.

ЗМІСТ

1	ВСТУП.....	4
2	ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. ПРОЄКТУВАННЯ ДАМБ ОБВАЛУВАННЯ.....	6
3	ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. ПРИПЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, МАЛІ ГЕС: ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК.....	15
4	ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПАВОДКОВОГО ВОДОСКИДУ.....	20
5	ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВОДОПОСТАЧАЛЬНОГО КАНАЛУ.....	25
6	ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ НАСИПУ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ.....	31
7	ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. РОЗРАХУНОК КАНАЛУ ЗА ВІДСТІЙНИКОМ.....	34
8	КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ	40
9	ЛІТЕРАТУРА.....	41

ВСТУП

Мета практичних робіт з дисципліни «Гідротехнічні будівлі та споруди» – сформувані у студентів глибокі знання та практичні навички, необхідні для проєктування, розрахунку, будівництва й експлуатації основних елементів гідротехнічних систем. Практичні завдання спрямовані на закріплення теоретичних положень гідравліки, гідрології, механіки ґрунтів та інженерної геології, які лежать в основі створення та безпечного функціонування гідротехнічних споруд.

У процесі навчання здобувачі:

- засвоюють методики проєктування гідротехнічних споруд із урахуванням природних і техногенних чинників;
- навчаються оцінювати вплив водних потоків на інженерні конструкції;
- виконують розрахунки стійкості насипів, укосів та підпірних споруд;
- опановують принципи роботи гідроенергетичних систем, водопостачальних та водовідвідних каналів;
- формують уміння застосовувати інженерні методи розрахунку для прийняття технічно обґрунтованих рішень.

Практичні роботи забезпечують перехід від теоретичних знань до реального інженерного розрахунку, що є основою підготовки майбутнього гідротехніка-проєктувальника.

Метою першої практичної роботи є ознайомлення з методикою визначення основних параметрів дамб обвалування — висоти гребеня, укосів, ширини берми та конструкції захисного покриття. Студенти навчаються розраховувати елементи хвильового впливу, визначати висоту нахату хвиль та обґрунтовувати позначку гребеня дамби з урахуванням гідрологічних умов і швидкості вітру. Робота базується на формулах для визначення елементів глибоководної хвилі, коефіцієнтів шорсткості та укосів, що забезпечує можливість практичного застосування отриманих результатів при проєктуванні берегозахисних споруд.

У другій практичній роботі розглядаються принципи дії гідроенергетичних споруд, що використовують енергію припливів, течій і малих водотоків. Студенти вивчають основи гідроенергетики, структуру гідроагрегату, схеми малих ГЕС та методику розрахунку потужності і ККД станцій. Метою є навчитися визначати параметри роботи турбін, напір, витрату води та ефективність енергетичного перетворення природного потоку у механічну й електричну енергію.

Третя практична робота присвячена розрахунку пропускної здатності паводкових водоскидів, визначенню форми та розмірів водозливного отвору, швидкості потоку та режиму витікання. Студенти опановують методику гідравлічного розрахунку при різних режимах роботи водоскиду, що дає змогу забезпечити безпечне відведення надлишкової води під час паводків без руйнування споруди.

Метою четвертої практичної роботи є визначення основних параметрів відкритого каналу для транспортування води: глибини потоку, швидкості,

гідравлічного радіуса та коефіцієнтів шорсткості. Студенти вивчають рівняння рівномірного руху води, методи підбору оптимального поперечного перерізу каналу, що забезпечує економічність і стабільність потоку. Практична робота формує розуміння процесів руху води у відкритих руслах і є базою для проєктування меліоративних і водопостачальних систем.

У п'ятій практичній роботі розглядаються умови стійкості насипів, зведених на слабких ґрунтах. Студенти навчаються визначати кути внутрішнього тертя, зчеплення, питоме навантаження та коефіцієнти стійкості укосів. Метою є засвоїти методику аналізу рівноваги ґрунтових мас, оцінювати вплив фізико-механічних властивостей основи на надійність споруди та приймати конструктивні рішення для її зміцнення.

Мета шостої практичної роботи – визначити гідравлічні параметри каналу, який відводить очищену воду з відстійника, забезпечуючи стабільний і безпечний рух потоку. Здобувачі вищої освіти виконують розрахунок пропускної здатності, швидкості течії, глибини потоку та ухилу дна. У роботі використовуються рівняння гідравліки, методи визначення режиму течії та умови запобігання замуленню каналу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 ПРОЄКТУВАННЯ ДАМБ ОБВАЛУВАННЯ

МЕТА: Ознайомитися з методикою розрахунку параметрів хвиль і визначення позначки гребеня дамби обвалування.

Навчитися визначати елементи глибоководної хвилі (висоту та довжину), коефіцієнти, що враховують умови розгону хвилі, а також розраховувати висоту нахату хвилі на укіс та обґрунтовувати висотну відмітку гребеня дамби з урахуванням гідрологічних і вітрових умов.

1. Визначення позначки гребеня дамби

Елементи глибоководної хвилі визначають за формулами:

$$h_{\text{гл}} = 0,073 \cdot K_p \cdot W \cdot \sqrt{\frac{D}{\lambda_{\text{огл}}}}, \quad (1.1)$$

$$\lambda_{\text{гл}} = 0,073 \cdot W \cdot \sqrt{D \cdot \lambda_{\text{огл}}}, \quad (1.2)$$

$$\lambda_{\text{огл}} = 9 + 19e^{-\frac{14}{W}}, \quad (1.3)$$

де $h_{\text{гл}}$ – висота хвилі на глибокій воді, м;

D – довжина вітрового розгону, яку приймають за таблицею вихідних даних (табл. А.1 дод. А);

$\lambda_{\text{огл}}$ – відносна довжина хвилі на глибокій воді;

$\lambda_{\text{гл}}$ – довжина хвилі на глибокій воді, м;

W – розрахункова швидкість вітру, м/с, виміряна на висоті 10 м (табл. А.1 дод. А);

K_p – коефіцієнт, який враховує підвищену інтенсивність розвитку хвилі на початку розгону, розраховують за формулою:

$$K_p = 1 + e^{-0,4\frac{D}{W}}. \quad (1.4)$$

Висоту h і довжину хвилі λ в заданій точці знаходять за формулами:

$$h = \beta \cdot h_{\text{гл}}; \quad (1.5)$$

$$\lambda = \alpha \cdot \lambda_{\text{гл}}; \quad (1.6)$$

де α , β – коефіцієнти, які залежать від відношення $H/\lambda_{\text{гл}}$ і визначаються за таблицею 1.1;

H – середня глибина водойми, м (табл. А.1 дод. А). Висоту нахату хвилі на укіс h_n розраховують так:

$$h_{\text{н}} = 2 \cdot k_{\text{ш}} \cdot \frac{h}{m_1} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (1.7)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості, приймається залежно від типу укріплення укосу за таблицею 1.2;

m_1 – коефіцієнт верхового укосу, визначається за таблицею 1.3 (для дамби висотою 4–7 м).

Таблиця 1.1

Значення коефіцієнтів α і β

$H/\lambda_{\text{зл}}$	α	β	$H/\lambda_{\text{зл}}$	α	β
0,01	0,119	0,251	0,26	0,724	0,753
0,02	0,161	0,306	0,28	0,74	0,767
0,03	0,2	0,352	0,3	0,765	0,78
0,04	0,238	0,394	0,35	0,796	0,81
0,05	0,275	0,428	0,4	0,823	0,832
0,06	0,310	0,462	0,45	0,85	0,854
0,07	0,343	0,493	0,5	0,866	0,871
0,08	0,378	0,519	0,6	0,904	0,904
0,09	0,406	0,542	0,65	0,918	0,913
0,1	0,435	0,564	0,7	0,930	0,930
0,12	0,485	0,596	0,75	0,942	0,942
0,14	0,54	0,635	0,8	0,956	0,956
0,16	0,582	0,662	0,85	0,967	0,967
0,18	0,617	0,685	0,9	0,980	0,98
0,2	0,652	0,703	0,95	0,990	0,99
0,22	0,679	0,720	1	1	1
0,24	0,703	0,736	-	-	-

Таблиця 1.2

Коефіцієнт шорсткості

Тип укріплення схилу	Коефіцієнт шорсткості
Суцільне непроникне покриття (асфальтобетон)	1
Бетонне покриття	0,9
Мостова (кам'яна кладка)	0,75–0,8
Накид:	
– з кругляка,	0,6–0,65
– з рваного каменю,	0,55
– з масивів	0,5

Таблиця 1.3

Визначення коефіцієнтів верхового та низового укосів

Ґрунт тіла дамби	Коефіцієнти укосу при розрахунковій висоті дамби					
	до 4 м		від 4 до 7 м		більше 7 м	
	m_1	m_2	m_1	m_2	m_1	m_2
Суглинок	2	1,5	2,5	1,75	3	2,25
Лес	2,75	2,25	3,25	2,75	3,75	3
Супісок	2,75	2,25	3	2,5	3,25	2,75

Пісок середньозернистий	2,75	2,25	2,75	2,25	3	2,5
Пісок дрібнозернистий	3	2,5	3,25	2,75	3,5	3
Примітка: m_1 – для мокрого укосу (верхового), m_2 – для сухого укосу (низового).						

Перевищення гребня дамби над розрахунковим рівнем води визначають за формулою:

$$Z = \Delta h + h_n + a, \quad (1.8)$$

де Δh – величина вітрового нагону (табл. А.1 дод. А);

a – запас у висоті споруди, що вимірюється від позначки нахату хвилі на укіс, м, приймається залежно від умов експлуатації та класу дамби за таблицею 1.4 (для нормальних умов експлуатації).

Позначку гребеня дамби Z_c обчислюють за формулою:

$$Z_c = Z_g + Z, \quad (1.9)$$

де Z_g – розрахункова позначка води у водоймі, м (табл. А.1 дод. А);

Z – перевищення гребеня дамби над розрахунковим рівнем води, м.

Таблиця 1.4

Піднесення гребеня дамби, a , м

Умови експлуатації	Клас дамби			
	1	2	3	4
Нормальні	1	0,7	0,5	0,4
Надзвичайні	0,7	0,5	0,4	0,3

2. Проектування параметрів дамби

Параметри дамби показано на рисунку 1.1. Визначають висоту дамби в ідеальному перерізі H_d :

$$H_d = Z + H_1, \quad (1.10)$$

де H_1 – глибина води перед дамбою (див. табл. А.1 дод. А), м.

Розраховують ширину верхньої частини дамби b :

$$b = 1,65 \cdot \sqrt{H_d}, \text{ але не менше ніж } 3 \text{ м.} \quad (1.11)$$

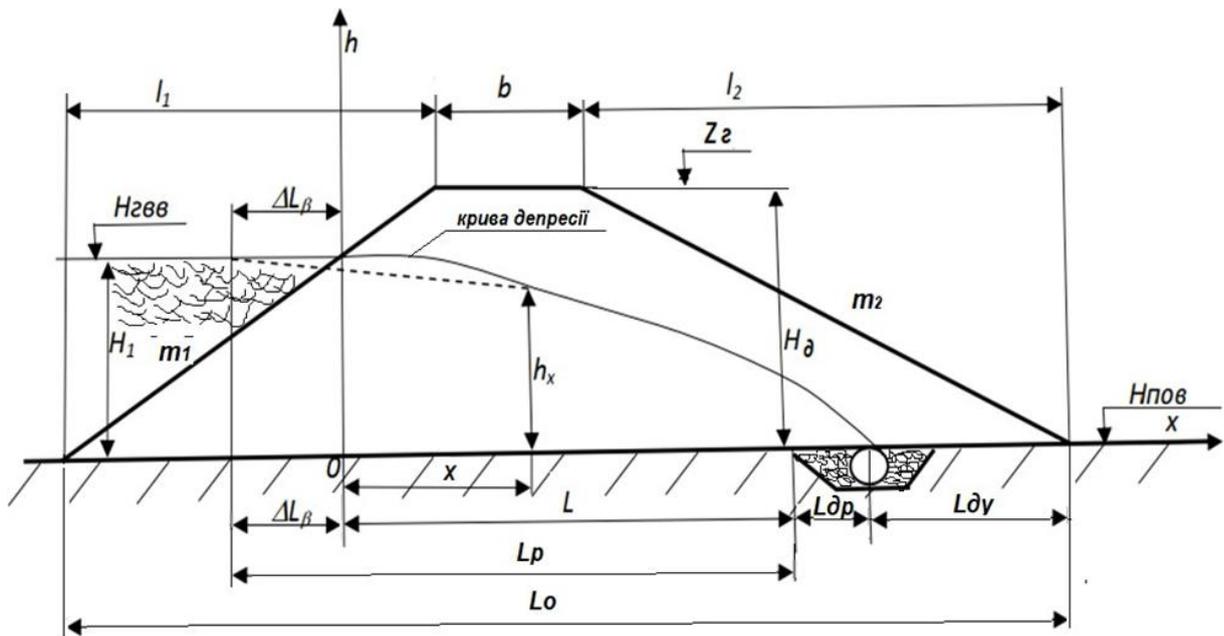


Рисунок 1.1 – Однорідна дамба на водонепроникній основі. Визначають ширину основи дамби L_o :

$$L_o = l_1 + b + l_2, \quad (1.12)$$

де b – ширина верхньої частини дамби (див. формулу 1.11);

l_1 і l_2 – відповідно величини закладання укосів (горизонтальна проекція укоса), які розраховуються за формулами:

$$l_1 = m_1 H_d, \quad (1.13)$$

$$l_2 = m_2 H_d, \quad (1.14)$$

де m_1 та m_2 – коефіцієнти відповідно верхнього та низового укосів при розрахунковій висоті дамби H_d (визначаються за таблицею 1.3).

3. Фільтраційний розрахунок дамб обвалування

Під дією напору водою на верхній укіс відбувається фільтрація води через дамбу. У результаті частина тіла дамби насичується водою, що фільтрується, верхню вільну поверхню якої називають поверхнею депресії. Лінію перетину цієї поверхні з вертикальною площиною називають депресійною кривою або кривою депресії (рис. 1.1). Нижче кривої депресії фільтраційний потік рухається в порах ґрунту з деякою швидкістю, а ґрунт, насичений водою, знаходиться у зваженому стані, що знижує стійкість укосів. Вище депресійної кривої ґрунт тіла дамби має природну вологість. Параметри фільтраційного потоку дозволяють встановити раціональні форми та розміри поперечного профілю дамби та її протифільтраційних та дренажних пристроїв, а також уточнити загальну схему дренажу тіла та основи дамби.

Далі виконуємо фільтраційний розрахунок однорідної дамби на водонепроникній основі з трубчастим дренажем. Фільтраційний розрахунок

дамб виконують для встановлення положення депресійної кривої в тілі дамби і визначення фільтраційних витрат води.

Спочатку визначають розрахунковий параметр L_p :

$$L_p = L + \Delta L_B, \quad (1.14)$$

де L – відстань від точки перетину рівня води з верховим укосом до початку обсіпання, м (див. рис. 1.1);

ΔL_B – величина від точки перетину рівня води з верховим укосом до умовної вертикальної роздільної площини початку теоретичної кривої депресії, м (за методом еквівалентного профілю, що спрощує розрахункові формули).

$$L = L_o - H_l m_l - L_{др} - L_{дy}, \quad (1.15)$$

де L_o – ширина основи дамби, м (див. формулу 1.12);

H_l – глибина води перед дамбою, м (див. формулу 1.10);

m_l – коефіцієнт для верхового укосу (табл. 1.3);

$L_{др}$ – відстань від початку обсіпання до осі дрени, м (приймаємо $L_{др} = 0,4 - 0,5$ м);

$L_{дy}$ – параметр залягання дрени в тілі дамби, або відстань від осі дренажної труби до межі підшви низового укосу (приймаємо 2–5 м).

$$\Delta L_B = \beta_B H_l \lesssim; \quad (1.16)$$

де β_B – коефіцієнт, який залежить від величини верхового укосу, знаходять його за формулою:

$$\beta_B = \frac{m_1}{2m_1 + 1}, \quad (1.17)$$

де m_1 – коефіцієнт для верхового укосу (табл. 1.3).

Далі визначають фільтраційні витрати на 1 погонний метр дамби:

$$q = K \cdot \left(\frac{H_l^2}{2L_p} \right), \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.18)$$

де H_l – глибина води перед дамбою, м;

K – коефіцієнт фільтрації тіла дамби (табл. 1.5);

L_p – розрахункова величина (за формулою 1.14)

Таблиця 1.5

Коефіцієнт фільтрації тіла дамби

Ґрунт	Лес	Суглинок	Супісок	Пісок		
				дрібний	середній	крупний
K , м/добу	0,008	0,1–0,2	0,2–0,8	2–5	5–15	15–50

Перераховують відстань від початку обсіпання до осі дрени $L_{др}$,

яка повинна задовольняти умові:

$$L_{др} \geq 0,5 \frac{q}{k}, \text{ м} \quad (1.19)$$

Якщо після розрахунку відстань $L_{др}$ буде менше прийнятого 0,4–0,5 м, тоді залишаємо $L_{др} = 0,4\text{--}0,5$ м, а якщо більше – приймаємо нове значення $L_{др}$.

Далі розраховуємо координати X і h_x (див. рис. 1.1) фільтраційної кривої (кривої депресії). Вони є точками, за якими ми можемо побудувати графік зміни фільтрації тіла дамби. Приймаючи значення X , розраховують h_x і визначають положення кривої депресії за декількома точками.

Величину h_x обчислюють за формулою:

$$h_x = -\sqrt{2 \frac{q}{k} \cdot (L - X + L_{др})}, \text{ м.} \quad (1.20)$$

Для побудови графіку кривої депресії достатньо 7–10 точок. Для цього відстань $(L + L_{др})$ розділяють на 6–9 рівних відрізків і розраховують по-перше X_1 (наприклад, $X_1 = (L + L_{др}) / 7$). Далі $X_2 = 2X_1$, $X_3 = 3X_1$, тощо.

Точки	X , м	h_x , м
1	X_1	
2	X_2	
3	X_3	
4	X_4	
...	...	
N	$X_n = L + L_{др}$	$h_n = 0$

Таблиця 1.6

Приклад розрахунку дамби обвалування

Вихідні дані	Варіант номер
Швидкість вітру W , м/с	17,6
Довжина вітрового розгону D , км	4,4
Середня глибина водойми H , м	5
Глибина води перед дамбою, H_1 , м	5
Розрахункова позначка води у водоймі, $Z_в$, м	73
Величина вітрового нагону Δh , м	0,43
Клас дамби	2
Тип укріплення верхнього укосу	накид з рваного каменю
Тип ґрунту дамби	лес

Визначення позначки гребеня дамби

Визначаємо елементи глибоководної хвилі:

$$\lambda_{0гл} = 9 + 19e^{-\frac{14}{W}} = 9 + 19 \cdot 2,718^{\frac{14}{17,6}} = 17,57 \text{ м;}$$

$$K_p = 1 + e^{-0,4 \frac{D}{W}} = 1 + 2,718^{-0,4 \frac{4,4}{17,6}} = 1,9$$

$$h_{\text{гЛ}} = 0,073 \cdot K_p \cdot W \cdot \sqrt{\frac{D}{\lambda_{\text{гЛ}}}} = 0,073 \cdot 1,9 \cdot 17,6 \cdot \sqrt{\frac{4,4}{17,57}} = 1,22 \text{ м};$$

$$\lambda_{\text{гЛ}} = 0,073 \cdot W \cdot \sqrt{D \cdot \lambda_{\text{гЛ}}} = 0,073 \cdot 17,6 \cdot \sqrt{4,4 \cdot 17,57} = 11,3 \text{ м}.$$

Визначаємо висоту h і довжину хвилі λ у заданій точці:

$$h = \beta \cdot h_{\text{гЛ}} = 0,85 \cdot 1,22 = 1,04 \text{ м}.$$

$$\lambda = \alpha \cdot \lambda_{\text{гЛ}} = 0,854 \cdot 11,3 = 9,65 \text{ м}.$$

Розраховуємо висоту нахату хвилі на укіс:

$$h_{\text{н}} = 2 \cdot k_{\text{ш}} \cdot \frac{h}{m_1} \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}} = 2 \cdot 0,55 \frac{1,04}{3,25} \sqrt[3]{\frac{9,65}{1,04}} = 0,74 \text{ м}.$$

Визначаємо перевищення гребня дамби над розрахунковим рівнем води:

$$Z = \Delta h + h_{\text{н}} + a = 0,43 + 0,74 + 0,7 = 1,87 \text{ м}.$$

Розраховуємо позначку гребеня дамби Z_2 :

$$Z_2 = Z_6 + Z = 73 + 1,87 = 74,87 \text{ м}.$$

Проектування параметрів дамби

Визначаємо висоту дамби в ідеальному перерізі:

$$H_0 = Z + H_1 = 1,87 + 5 = 6,87 \text{ м}.$$

Розраховуємо ширину верхньої частини дамби:

$$b = 1,65 \cdot \sqrt{H_{\text{д}}} = 1,65 \cdot \sqrt{6,87} = 4,32 \text{ м}.$$

Визначають ширину основи дамби:

$$L_0 = l_1 + b + l_2 = 3,25 \cdot 6,87 + 4,32 + 2,75 \cdot 6,87 = 45,54 \text{ м}.$$

Фільтраційний розрахунок дамби обвалування

$$\beta_{\text{в}} = \frac{m_1}{2m_1 + 1} = \frac{3,25}{6,5 + 1} = 0,433$$

$$\Delta L_B = \beta_B H_1 = 0,433 \cdot 5 = 2,17 \text{ м.}$$

Приймаємо $L_{\partial p} = 0,4 \text{ м}$, а $L_{\partial y} = 5 \text{ м}$.

$$L = L_o - H_1 m_1 - L_{\partial p} - L_{\partial y} = 45,54 - 5 \cdot 3,25 - 0,4 - 5 = 23,89 \text{ м,}$$

$$L_P = L + \Delta L_B = 23,89 + 2,17 = 26,06 \text{ м.}$$

Визначаємо фільтраційні витрати на 1 погонний метр дамби:

$$q = K \cdot \left(\frac{H_1^2}{2L_P} \right) = 0,008 \cdot \left(\frac{5^2}{2 \cdot 26,06} \right) = 0,004 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Перераховуємо $L_{\text{др}} \geq 0,5 \frac{q}{k} = 0,5 \cdot \frac{0,004}{0,008} = 0,25 \text{ м}$, що менше прийнятого $0,4 \text{ м}$, тому залишаємо $L_{\text{др}} = 0,4 \text{ м}$.

Далі, приймаючи значення X , розраховуємо $h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} \cdot (L - X + L_{\text{др}})}$ і по точках будуємо графік кривої депресії.

$$X_1 = (23,89 + 0,4) / 7 = 3,47 \text{ м.}$$

$$h_x = \sqrt{2 \frac{0,004}{0,008} \cdot (23,89 - 3,47 + 0,4)} = 4,56 \text{ м.}$$

Аналогічно далі виконують усі інші розрахунки. Результати заносимо у таблицю 1.7.

Таблиця 1.7

Точки	X , м	h_x , м
0	$X_0=0$	$h_0=H_1=5$
1	$X_1=3,47$	$h_1=4,56$
2	$X_2=6,94$	$h_2=4,17$
3	$X_3=10,41$	$h_3=3,73$
4	$X_4=13,88$	$h_4=3,23$
5	$X_5=17,35$	$h_5=2,63$
6	$X_6=20,82$	$h_6=1,86$
7	$X_7=24,29$	$h_7=0$

Таблиця 1.8

Вихідні дані для проєктування дамб обвалування

Вихідні дані	Варіанти											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Швидкість вітру W , м/с	16	16,3	16,7	17	17,3	17,6	18	18,3	18,6	19	19,3	19,6
Довжина вітрового розгону D , км	2	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5
Середня глибина водойми H , м	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2
Глибина води перед дамбою H_1 , м	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
Розрахункова позначка води у водоймі, $Z_в$, м	70,5	71	71,5	72	72,5	73	73,5	74	74,5	75	75,5	76
Величина вітрового нагону Δh , м	0,3	0,33	0,36	0,38	0,4	0,43	0,46	0,5	0,52	0,55	0,57	0,6
Клас дамби	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Тип укріплення верхового укусу	накид з брукового каменю					накид із рваного каменю				бруківка (кам'яна кладка)		
Тип ґрунту дамби	суглинок					лес				супісок		

Вихідні дані	Варіанти											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Швидкість вітру W , м/с	20	20,2	20,2	20,4	20,6	20,7	20,9	21	21,2	21,4	21,6	
Довжина вітрового розгону D , км	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,5	
Середня глибина водойми H , м	6,4	6,7	7,0	7,3	7,5	7,7	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	
Глибина води перед дамбою H_1 , м	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,2	
Розрахункова позначка води у водоймі, $Z_в$, м	76,5	77	77,5	78	78,5	79	79,5	80	80,5	81	81,5	
Величина вітрового нагону Δh , м	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7	0,73	0,76	0,8	0,83	0,87	0,9	
Клас дамби	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	
Тип укріплення верхового укусу	накид із масивів			бетонне			асфальтобетон		бруківка (кам'яна кладка)			
Тип ґрунту дамби	суглинок			пісок середньозернистий			пісок дрібнозернистий		лес			

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. *Визначення коефіцієнтів верхового та низового укосів.*
2. *Визначення позначки гребеня дамби.*
3. *Основні елементи конструкції земляної греблі.*

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 ПРИПЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, МАЛІ ГЕС: ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК

Мета роботи: ознайомитися з принципом роботи припливних електростанцій (ПЕС) і малих ГЕС, а також з методиками їх розрахунку.

Теоретична частина

Малі гідроелектростанції (МГЕС).

Гідроелектростанції малої потужності – це устаткування, яке засноване на гідроенергетичних установках потужністю від 1 до 3000 кВт. Установки для малої гідроенергетики класифікують за потужністю на:

- устаткування для міні гідроелектростанції потужністю до 100 кВт;
- устаткування для мікро гідроелектростанцій потужністю до 1000 кВт.

Конструкція малої ГЕС базується на гідроагрегаті, який включає енергоблок, водозабірний пристрій і елементи управління. Залежно від того, які гідроресурси використовуються малими гідроелектростанціями, їх ділять на декілька категорій:

- руслові або пригребельні станції з невеликими водосховищами;
- стаціонарні міні ГЕС, що використовують енергію вільної течії річок;
- ГЕС, що використовують існуючі перепади рівнів води на різних об'єктах водного господарства;
- мобільні міні ГЕС в контейнерах, із застосуванням пластикових труб або гнучких армованих рукавів.

Принцип роботи турбіни в усіх конструкціях практично ідентичний: вода під тиском поступає на лопаті турбіни, які починають обертатися. Енергія обертання передається на гідрогенератор, який відповідає за вироблення електроенергії. Турбіни для об'єктів підбираються відповідно по деяких технічних характеристиках, серед яких головним залишається тиск води. Крім того, турбіни вибираються залежно від виду камери, яка йде в комплекті – сталеву або залізобетонною.

Потужність ГЕС залежить від тиску і витрати води, а також від ККД використовуваних турбін і генераторів. Через те, що за природними законами рівень води постійно міняється, залежно від сезону, а також ще з ряду причин, як вираження потужності гідроелектричної станції прийнято брати циклічну

потужність. Приміром, розрізняють річний, місячний, тижневий або добовий цикли роботи.

Припливні електростанції. Принцип роботи припливної електростанції (ПЕС) такий: в затоці будується гребля, що відділяє частину його від океану. Під час приливу і відливу по різні сторони греблі утворюється перепад рівнів води, вода спрямовується через греблю у бік нижнього рівня і приводить в рух реверсивні турбіни, що обертаються то в один (під час приливу), то в інший бік (рис. 2.1).

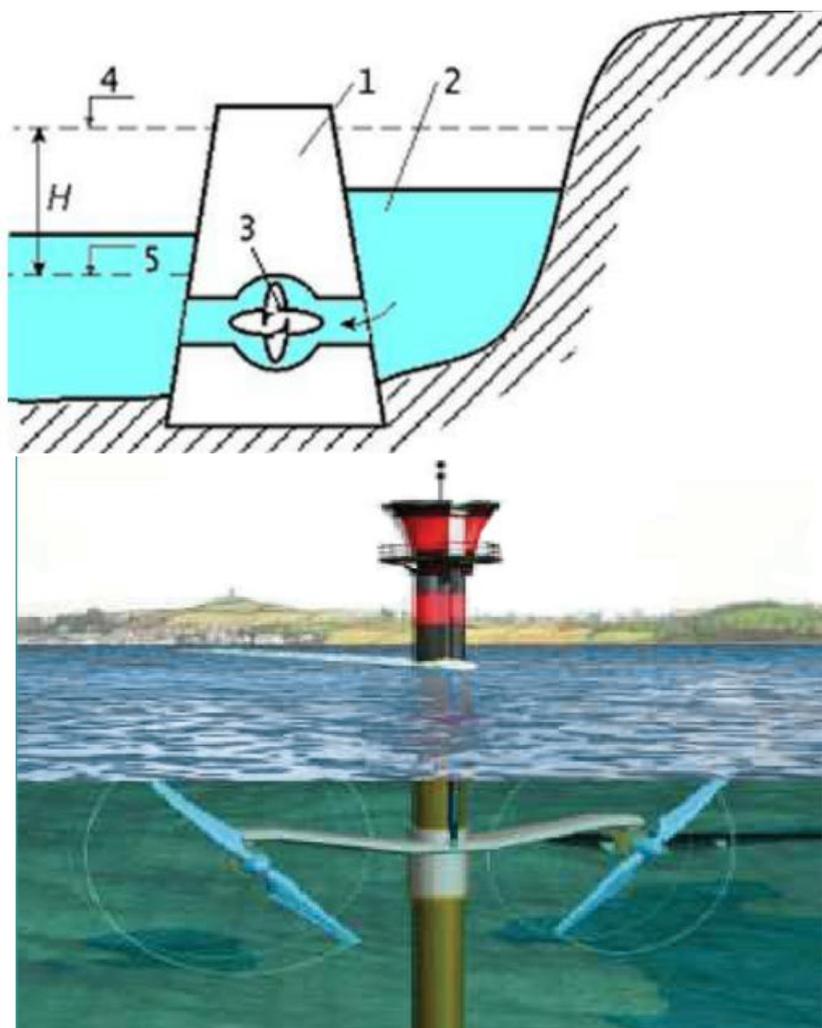


Рисунок 2.1 – Принцип роботи припливної електростанції: 1 – гребля, 2 – басейн, 3 – реверсивна турбіна, 4 – найбільший рівень приливу, 5 – рівень відливу

В порівнянні із звичайною ГЕС приливна електростанція має ряд переваг: 1. Окрім відсутності необхідності створення водосховища робота ПЕС не залежить від водності року. 2. Приливи і відливи, змінюючи один одного, мають постійну для кожного місяця енергію. 3. Привабливі приливні електростанції і тим, що капітальні вкладення на їх будівництво не перевищують витрат на спорудження гідроелектростанцій. 4. При цьому собівартість будівництва електростанції на 1 МВт електроенергії, що виробляється на ПЕС, може обійтися у п'ятеро дешевше, ніж на ТЕС

Практика експлуатації підтвердила екологічну безпеку приливних електростанцій: • греблі ПЕС біологічно проникні: пропуск риби через ПЕС відбувається практично безперешкодно, основна кормова база риби планктон: на ПЕС гине 5-10% планктону, а на ГЕС – 83-99%; • зниження солоності води в басейні ПЕС, що визначає екологічний стан морської фауни і льоду складає 0,05-0,07%, тобто практично невідчутно; • льодовий режим в басейні ПЕС пом'якшується: в басейні зникають тороси і передумови до їх утворення, не спостерігається нажимної дії льоду на споруду, розмив дна і рух наносів повністю стабілізуються протягом перших двох років експлуатації; • наплавний спосіб будівництва дає можливість не зводити в створах ПЕС тимчасові великі будівельні бази, споруджувати перемички і інше, що сприяє збереженню довкілля в районі ПЕС; • виключений викид шкідливих газів, золи, радіоактивних і теплових відходів, розробку, транспортування, переробка, спалювання і захоронення палива, запобігання спалюванню кисню повітря, затоплення територій, загроза хвилі прориву; • ПЕС не загрожує природі і людині, а зміни в районі її експлуатації мають лише локальний характер, причому, в основному, в позитивному напрямі.

2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.2.1. Оцінка зміни потужності малою ГЕС при коливаннях витрати води і тиску.

Як зміниться потужність малої ГЕС, якщо тиск водосховища H в посушливий період зменшиться в n разів, а витрата води Q скоротиться на m %? Втрати в гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах і генераторах вважати постійними. Відомо, що потужність ГЕС (Вт) можна визначити по простому рівнянню:

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \text{ Вт} \quad (2.1)$$

де Q – об'ємна витрата води в м³ /с;

H – тиск води ГЕС в м;

η – ККД ГЕС, що враховує втрати в гідравлічних спорудах водоводах, турбінах, генераторах. Для малих ГЕС $\eta \approx 0,5$.

ККД гідротурбін змінюється в межах 0,5÷0,9. Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Вихідні данні для розрахунку параметрів малих ГЕС

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	3	2	1,2	1,5	3	2	1,2	1,5	3	2
m	30		20	30	50	30	10	20	40	20

Розв'язання.

Приймаємо наступні умови: тиск водосховища H в посушливий період зменшиться в $n=3$ разів, а витрата води Q скоротиться на $m=20\%$? Втрати в гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах і генераторах вважати постійними.

1. Потужність ГЕС до змін визначається:

$$N_1 = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta,$$

2. Потужність ГЕС після змін визначається:

$$N_2 = 9,81 \cdot Q \cdot (1 - m) \cdot \eta \cdot \frac{H}{n}, \quad (2.2)$$

3. Зміна потужності:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{9,81 \cdot Q \cdot (1 - m) \cdot \eta \cdot \frac{H}{n}} = \frac{n}{1 - m} = \frac{3}{1 - 0,2} = 3,75$$

2.2.2. Розрахунок параметрів малих ГЕС та аналіз зміни потужності гідрогенератора.

Визначити потужність малої ГЕС, якщо витрата води Q , тиск H . Коефіцієнт втрат тиску у відкритому гідроканалі $K=0,85$, ККД гідротурбіни $\eta_m=80\%$, ККД гідрогенератора η_e . Як зміниться потужність, якщо затвором зменшити витрату води до 70% від номінального? Буде вона більше або менше, ніж 70% від номінальної потужності?

Електрична потужність гідроенергетичної установки розраховується за формулою:

$$N = 9,81 \cdot K \cdot Q \cdot H \cdot \eta_m \cdot \eta_e, \text{ Вт} \quad (2.2)$$

де K – коефіцієнт втрат тиску в гідро каналі.

Розв'язання.

Приймаємо наступні умови: витрата води $Q=20 \text{ м}^3/\text{с}$, тиск $H=8 \text{ м}$. Коефіцієнт втрат тиску у відкритому гідроканалі $K=0,85$, ККД гідротурбіни $\eta_m=80\%$, ККД гідрогенератора $\eta_e=95\%$. Як зміниться потужність, якщо затвором зменшити витрату води до 70% від номінального? Буде вона більше або менше, ніж 70% від номінальної потужності? 1. Потужність ГЕС до змін визначається:

$$N_1 = 9,81 \cdot K \cdot Q \cdot H \cdot \eta_m \cdot \eta_e = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \approx 1014 \text{ Вт}$$

2. Потужність ГЕС після змін визначається:

$$N_2 = 9,81 \cdot K \cdot Q \cdot (1 - 0,7) \cdot H \cdot \eta_m \cdot \eta_e = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \approx 304 \text{ Вт}$$

3. Зміна потужності

$$\Delta N = \frac{(N_1 - N_2) \cdot 100\%}{N_1} = \frac{(1014 - 304)}{1014} = 70\%$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Вихідні данні для розрахунку параметрів малих ГЕС

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$H, \text{ м}$	17	15	13	11	9	8	7	6	7	8
$\eta_m, \%$	76	78	79	80	81	82	83	84	85	84
$\eta_e, \%$	94	95	96	93	94	95	95	96	95	96

2.2.3. Оцінка приливної потенціалу басейну.

Використовуючи формулу Л.Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну $E_{пот}$ (кВт·год), якщо його площа F (км²), а середня величина приливу R_{cp} (м).

Завдання присвячено оцінці енергетичного потенціалу $E_{пот}$ приливної енергії океанічного басейну, що має площу F , якщо відома середня величина приливної хвилі R_{cp} . У науковій літературі існує декілька рівнянь, що дозволяють визначити приливний потенціал басейну. Одне з них запропоноване вітчизняним ученим Л.Б. Бернштейном:

$$E_{пот} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{cp}^2 \cdot F \quad (2.3)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Вихідні данні для оцінки приливної потенціалу басейну

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F, \text{ км}^2$	400	700	1000	1500	2000	2200	2500	3000	3500	4000
$R_{cp}, \text{ м}$	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	6,5	6,0	5,4	5,2	5,0

Розв'язання.

Приймаємо наступні умови: площа басейну $F=2000 \text{ км}^2$, а середня величина приливу $R_{cp}=7 \text{ м}$.

Приливний потенціал басейну:

$$E_{nom} = 1,97 \cdot 10^6 R_{cp}^2 \cdot F = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7^2 \cdot 2000 = 193,1 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення терміну «мала гідроелектростанція».
2. Наведіть класифікацію малої гідроенергетики.
3. Основні елементи конструкції малої ГЕС.
4. Принципи роботи приливної електростанції.
5. В чому полягає екологічна безпека ПЕС.
6. Наведіть методику розрахунку параметрів малих ГЕС.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПАВОДКОВОГО ВОДОСКИДУ

Мета роботи: опанувати методику гідравлічного розрахунку при різних режимах роботи водоскиду, що дає змогу забезпечити безпечне відведення надлишкової води під час паводків без руйнування споруди.

Теоретична частина

Для скиду зайвих паводкових вод з верхнього в нижній б'єф, у тілі греблі рибоводних господарств будуються відкриті паводкові водоскиди. Щитові затвори-шлюзи дозволяють утримувати необхідний рівень води в водосховищі.

Поріг відкритого водоскиду закладають на дні водосховища або трохи вище нього так, щоб напір над порогом не перевищував прийнятої величини для даної конструкції.

Бетонний водоскид складається із флютбету, бокових стінок, щитових затворів і службового містка.

При гідравлічному розрахунку водоскиду, який регулюються, назначають розміри спорудження, котрі повинні забезпечити пропуск максимальних витрат води від весняного сніготанення. Тому необхідно спочатку розрахувати максимальні паводкові витрати. Для річок з невеликою водозабірною площею максимальну паводкову витрату треба визначати за формулою Д.Л. Соколовського:

$$Q = M \cdot F \cdot \delta \cdot \delta', \quad (3.1)$$

де Q – максимальна витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$;

δ – коефіцієнт, який враховує вплив озер і боліт на величину весняного стоку;

δ' – коефіцієнт, який враховує вплив лісу на величину весняного стоку;

F – площа водозбору, км²

Щоб користуватися цією формулою, необхідно для даного басейну попередньо встановити: модуль стоку M , площу водоскиду (дається в завданні), коефіцієнти, які враховують наявність озер і боліт на площі водоскиду.

Модуль стоку визначається за формулою:

$$M = \frac{0,278 \cdot A}{\sqrt[4]{F+1}} \quad (3.2)$$

де A – параметр, який характеризує стік у районі даного басейну, знаходиться по карті ізоліній, мм/год.

Щоб виявити величину даного параметру в м³/с необхідно знайдені по карті значення помножити на $-0,278$.

Коефіцієнт заболоченості і озерності визначається за формулою:

$$\delta = 1 - 0,6 \cdot \lg(a + 0,2 \times B + 1), \quad (3.3)$$

де a – площа озер, % від площі водоскиду;

B – площа боліт, % від площі водоскиду.

$$\delta' = 1 - (0,3 + 0,6) \cdot \gamma, \quad (3.4)$$

де $0,3$ – для листяних лісів у лісостеповій зоні; $0,6$ – для тайгових лісів півночі;

γ – відношення площі басейну, покритої лісом до всієї його площі.

Визначивши максимальну витрату води, котру повинен пропустити водоскид, починають розрахунок будівельної ширини водоскиду, який визначається гідравлічними розрахунками. Гідравлічний розрахунок виконують враховуючи умови роботи прямокутного водозливу з широким порогом, причому водозлив може бути затопленим й незатопленим. Якщо відношення

$$h : H_0 < 0.7$$

h – глибина води у нижньому б'єфі над порогом водоскиду,

H_0 – напір води над порогом у верхньому б'єфі), то водозлив вважається затопленим.

Розрахункова формула для незатопленого водозливу з широким порогом:

$$b_{ст} = \frac{Q}{M \cdot H_0^{2/3}} \quad (3.5)$$

де Q – максимальна витрата води, м³/с, яка розрахована;

b_{cm} – ширина потоку у стиснутому перерізі, м;
 M – коефіцієнт плавності входу у водоскид;
 H_0 – повний напір води над порогом спорудження, який визначається за формулою.

Розрахункова формула для затопленого водозливу:

$$Q = \varphi \cdot b_{cv} \cdot h \sqrt{2q(H_0 - h)} \quad (3.6)$$

де, як у формулі незатопленого водозливу усі величини, крім відомих, можуть бути визначені послідовно:

$$b_{ct} = \frac{Q}{\varphi \cdot h \sqrt{2q(H_0 - h)}} \quad (3.7)$$

Величину b_{ct} визначають також, як і для затопленого водозливу.

Напір над порогом водоскиду у верхньому б'єфі визначається за формулою:

$$H_1 \cdot НПГ \cdot H_e, \quad (3.8)$$

де $НПГ$ – відмітка нормального підпертого горизонту, м;

H_e – відмітка порогу водоскиду, м.

Швидкість підходу води до водоспуску визначається за формулою:

$$V = \frac{Q}{W}, \quad (3.9)$$

де W – площа живого перерізу, м²;

Q – максимальна витрата води, м³/с.

Швидкісний напір визначається за формулою:

$$H_2 = \frac{V^2}{2q}, \quad (3.10)$$

де q – прискорення сили ваги, 9,81 м/с²;

V – швидкість підходу води до водоспуску, м/с.

Повний напір води над порогом споруди визначається за формулою:

$$H_0 \cdot H_1 \cdot H_2 \quad (3.11)$$

Для визначення швидкості підходу води до водоскиду, треба знати площу поперечного перерізу греблі поблизу водоскиду і максимальну витрату, тоді з певного виразу витрати води можна визначити швидкість за формулою 3.9.

При швидкості $V < 1$ м/с швидкісний напір незначний і ним можна знехтувати.

Отримавши b_{ct} за формулою 3.5 можна взяти повну будівельну ширину водоскиду:

$$b_{\text{буд}} \cdot b_{\text{ст}} \cdot 0,07n H_0 \cdot m c, \quad (3.12)$$

де n - число стиснень;

m - кількість стояків, які встановлюють через 1 м;

c - ширина стояків, звичайно приймається 0,2 м.

Число стиснень назначають розраховуючи, що у кожного стояка є по одному стисненню, а у кожного проміжного стояка - по два стиснення.

Приклад розрахунку

Визначити ширину отвору відкритого водоспуску, якщо $Q = 20 \text{ м}^3/\text{с}$, відмітка НПР води у водосховищі 102,5 м, відмітка порогу водоскиду 100,5 м, відмітка води у нижньому б'єфі над порогом водоскиду 101,3 м, площа живого перерізу водойми поблизу греблі 16 м^2 .

Напір над порогом водоскиду у верхньому б'єфі визначається за формулою 3.8:

$$H_1 \cdot 102,5 \cdot 100,5 \cdot 2 \text{ м.}$$

Швидкість підходу води до водоспуску визначається за формулою 3.9:

$$V = \frac{20}{16} = 1,25 \text{ м/с,}$$

Швидкісний напір визначається за формулою 3.10:

$$H_2 = \frac{1,25^2}{2 \cdot 9,81} = 0,08 \text{ м}$$

Повний напір визначається за формулою 3.11:

$$H_0 \cdot 2,0 \cdot 0,08 \cdot 2,08 \text{ м.}$$

Глибина води над порогом у нижньому б'єфі визначається як:

$$h \cdot H_n \cdot H_e \cdot 101,3 \cdot 100,5 \cdot 0,8 \text{ м.}$$

Встановлюємо який водозлив: затоплений чи незатоплений, для цього визначаємо відношення:

$$h/H_0 \cdot 0,8/2,08 \cdot 0,39; \quad h/H_0 \cdot 0,7$$

У даному випадку водозлив незатоплений, розрахунок далі ведеться за формулою незатопленого водозливу.

Визначаємо $b_{\text{ст}}$ за формулою 3.5

$$b_{\text{ст}} = \frac{20}{1,55 \cdot 2,08^{2/3}} = 4,25 \text{ м/с}$$

Приймаємо поріг з закругленим вхідним ребром, $M = 1,55$.

Визначаємо $B_{буд}$ за формулою 3.12:

$$b_{буд} \cdot 4,25 \cdot 0,07 \cdot 8 \cdot 2,08 \cdot 3 \cdot 0,2 \cdot 5,97 \text{ м.}$$

Отвір водоскиду поділено на 4 прольоти трьома стояками діаметром 0,2м. У кожного прольоту буде по два стиснення, всього 4 x 2 x 8.

Повна будівельна ширина відкритого водоспуску приймається рівною 6 метрів.

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунків згідно індивідуального варіанту

№ варіанту	Q , м ³ /с	Відмітка НПГ(нормального підпертого горизонту)	Відмітка порога водоскиду	Відмітка води у нижньому уб'єфі на порозі спорудження	Площа живого перерізу водосховища поблизу греблі, м ²
1	2	3	4	5	6
1	62	52,80	50,50	51,30	90
2	58	75,00	71,00	72,00	80
3	84	86,00	82,00	83,00	122
4	69	69,00	66,00	67,00	85
5	78	88,30	84,70	86,00	62
6	84	80,50	76,00	78,00	67
7	127	84,00	80,00	82,00	64
8	58	54,50	52,50	53,50	86
9	124	120,00	116,00	118,00	128
10	88	88,00	65,00	86,60	102
11	63	48,00	56,00	50,8	60
12	32	65,00	61,00	62,00	45
13	27	39,00	36,00	37,00	28
14	39	112,00	108,00	102,00	54
15	77	34,5	32,5	33,5	101
16	25	58,00	54,7	56,5	60

Продовження табл.3.1

1	2	3	4	5	6
17	82	44,5	42,5	43,5	73
18	18	34,7	32,7	33,5	65
19	15	75,5	71,5	73,5	90
20	27	89,5	85,5	87,6	70
21	19	102,00	106,5	104,7	35
22	62	52,80	50,50	51,30	90

23	58	75,00	71,00	72,00	80
24	84	86,00	82,00	83,00	122
25	69	69,00	66,00	67,00	85
26	78	88,30	84,70	86,00	62
27	84	80,50	76,00	78,00	67
28	24	107,00	111,5	109,7	40
29	87	83,50	79,00	81,00	70
30	62	79,00	75,00	76,00	84

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Дайте загальну характеристику водоскидів.
2. Яке призначення мають водоскиди?
3. Яке призначення мають паводкові водоскиди та їх застосування в рибоводстві?
4. Назвіть типи паводкових водозливів і дайте характеристику їх конструкцій.
5. Яке призначення мають водозливні канали?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВОДОПОСТАЧАЛЬНОГО КАНАЛУ

Мета роботи: визначення основних параметрів відкритого каналу для транспортування води: глибини потоку, швидкості, гідравлічного радіуса та коефіцієнтів шорсткості. Вивчити рівняння рівномірного руху води, методи підбору оптимального поперечного перерізу каналу, що забезпечує економічність і стабільність потоку.

Теоретична частина

Призначення водопостачальної системи - постачання води з джерела водопостачання уставки рибоводного господарства.

При проектуванні водопостачальної системи повинні бути обчислені та виконанні такі вимоги:

- водопостачальна система забезпечує завчасну безперебійну подачу розрахованих витрат води в усі ставки рибоводного господарства;
- при гідравлічному розрахунку каналу прийнято його поперечний переріз так, щоб не було розливу, а також замулення і заростання каналу;
- мінімальні втрати на фільтраційні води з каналів;
- рівень води у каналі повинен бути вище рівня води у ставках, в які вони постачають воду.

За заданими:

b – ширина по дну, м;

h – відстань від поверхні води до дна, м;

i – уклон дна каналу:

m – коефіцієнт закладення укосу;

n – коефіцієнт шорсткості;

Q – розрахункова витрата води, м³/с; визначаємо наступні параметри:

Витрата води розраховується за формулою:

$$Q \cdot W \cdot U, \quad (4.1)$$

де U виражається як:

$$U = C\sqrt{R \cdot i}, \quad (4.2)$$

Підставивши формулу 4.2 до формули 4.1 маємо:

$$Q = W \cdot C\sqrt{R \cdot i}, \quad (4.3)$$

Якщо позначити $W \cdot C\sqrt{R}$ скрізь K , отримаємо:

$$Q = K\sqrt{i}, \quad (4.4)$$

де K - витратна характеристика, м³/с

Звідси

$$K = \frac{Q}{\sqrt{i}}, \quad (4.5)$$

тобто витратна характеристика - витрата, котра проминула би в руслопри уклоні $i = 1$.

Для прискорення розрахунку будують графік $K = f(h)$, для чого послідовно при різній h і постійної b підраховують:

- площу живого перерізу $W \square (b \square m \cdot h) \cdot h$, м²;
- змочений периметр $P = b + 2h\sqrt{1 + m}$, м,
- гідравлічний радіус: $R = \frac{W}{P}$, м,
- швидкісний коефіцієнт: $C = \frac{1}{n}R^y$, м^{0,5}/с

y – показник степеню який визначається в залежності від R - гідравлічного радіуса:

$$y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R < 1 \text{ м}$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R > 1 \text{ м}$$

- витратну характеристику $K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i}$, м³/с.
- Всі дані записують у таблицю.

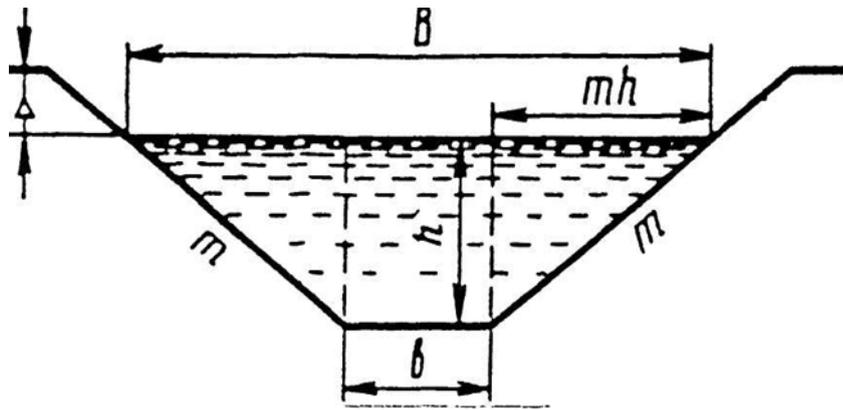


Рисунок 4.1 – Поперечний переріз водопостального каналу
 B - ширина зверху; b - ширина по дну; m – укоси; h - глибина наповнення; L - запас бровки.

Приклад розрахунку

Дана витрата: $Q = 0,81 \text{ м}^3/\text{с}$,
 $i = 0,002$,
 $n = 0,03$,
 $m = 1,5$,
 $b = 0,8 \text{ м}$,
 $h = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,0 \text{ м}$.

Визначити глибину наповнення водопостачального каналу трапецеїдальної перетину та швидкість води у каналі.

Всі розрахунки зводимо до таблиці 4.1, за даними якої будуємо графік $K = f(h)$

Визначаємо площу живого перерізу (для $h = 0,3 \text{ м}$):

$$W \cdot (b \cdot m \cdot h) \cdot h = (0,8 \cdot 1,5 \cdot 0,3) \cdot 0,3 \cdot 0,375 \text{ м}^2;$$

для $h = 0,5 \text{ м}$

$$W \cdot (0,8 \cdot 1,5 \cdot 0,5) \cdot 0,5 \cdot 0,775 \text{ м}^2$$

для $h = 0,7 \text{ м}$

$$W \cdot (0,8 \cdot 1,5 \cdot 0,7) \cdot 0,7 \cdot 1,295 \text{ м}^2$$

для $h = 0,9 \text{ м}$

$$W \cdot (0,8 \cdot 1,5 \cdot 0,9) \cdot 0,9 \cdot 1,935 \text{ м}^2$$

для $h = 1,0 \text{ м}$

$$W \cdot (0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0) \cdot 1,0 \cdot 2,3; \text{м}^2.$$

Розраховуємо змочений периметр (для $h = 0,3$):

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m}, = 0,8 + 2 \cdot 0,3\sqrt{1 + 1,5} = 1,74 \text{ м},$$

для $h = 0,5 \text{ м}$

$$P = 0,8 + 2 \cdot 0,5\sqrt{1 + 1,5} = 2,38 \text{ м},$$

для $h = 0,7 \text{ м}$

для $h = 0,9$ м $P = 0,8 + 2 \cdot 0,7\sqrt{1 + 1,5} = 3,01$ м,

для $h = 1,0$ м $P = 0,8 + 2 \cdot 0,9\sqrt{1 + 1,5} = 3,65$ м,

$P = 0,8 + 2 \cdot 1,0\sqrt{1 + 1,5} = 3,962$ м,

Визначаємо гідравлічний радіус (для $h = 0,3$):

для $h = 0,5$ м $R = \frac{W}{P} = \frac{0,375}{1,74} = 0,216$ м,

для $h = 0,7$ м $R = \frac{W}{P} = \frac{0,775}{2,38} = 0,326$ м

для $h = 0,9$ м $R = \frac{W}{P} = \frac{1,295}{3,01} = 0,43$ м

для $h = 1,0$ м $R = \frac{W}{P} = \frac{1,935}{3,65} = 0,53$ м

$R = \frac{W}{P} = \frac{2,3}{3,962} = 0,58$ м

Швидкісний коефіцієнт, або коефіцієнт Шезі визначається (для $h = 0,3$ м):

для $h = 0,5$ м $C = \frac{1}{n}R^y = \frac{1}{0,03}0,216^{0,26} = 22,38, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$

для $h = 0,7$ м $C = \frac{1}{n}R^y = \frac{1}{0,03}0,326^{0,26} = 24,9, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$

для $h = 0,9$ м $C = \frac{1}{n}R^y = \frac{1}{0,03}0,43^{0,26} = 26,76, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$

для $h = 1,0$ м $C = \frac{1}{n}R^y = \frac{1}{0,03}0,53^{0,26} = 28,26, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$

$C = \frac{1}{n}R^y = \frac{1}{0,03}0,58^{0,26} = 28,93, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$

Розраховуємо витратну характеристику K (для $h = 0,3$ м):

$$K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i} = 0,375 \cdot 22,38\sqrt{0,216 \cdot 0,002} = 0,174, \text{ м}^3/\text{с.}$$

для $h = 0,5 \text{ м}$

$$K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i} = 0,775 \cdot 24,9\sqrt{0,326 \cdot 0,002} = 0,493, \text{ м}^3/\text{с.}$$

для $h = 0,7 \text{ м}$

$$K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i} = 1,295 \cdot 26,76\sqrt{0,43 \cdot 0,002} = 1,016, \text{ м}^3/\text{с.}$$

для $h = 0,9 \text{ м}$

$$K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i} = 1,935 \cdot 28,26\sqrt{0,53 \cdot 0,002} = 1,78, \text{ м}^3/\text{с.}$$

для $h = 1,0 \text{ м}$

$$K = W \cdot C\sqrt{R \cdot i} = 2,3 \cdot 28,93\sqrt{0,58 \cdot 0,002} = 2,27, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Визначаємо швидкість води в каналі за формулою:

$$v = \frac{q}{W}. \text{ Тоді}$$

для $h = 0,3 \text{ м}$:

$$v = \frac{0,81}{0,375} = 2,16 \text{ м/с}$$

для $h = 0,5 \text{ м}$:

$$v = \frac{0,81}{0,775} = 1,04 \text{ м/с}$$

для $h = 0,7 \text{ м}$:

$$v = \frac{0,81}{1,295} = 0,63 \text{ м/с}$$

для $h = 0,9 \text{ м}$:

$$v = \frac{0,81}{1,935} = 0,42 \text{ м/с}$$

для $h = 1,0 \text{ м}$:

$$v = \frac{0,81}{2,3} = 0,35 \text{ м/с}$$

Після проведення розрахунків всі данні заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати гідравлічного розрахунку водопостачального каналу

$h, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$W, \text{ м}^2$	$P, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	$C_{\text{м}^{0,5}/\text{с}}$	$v, \text{ м/с}$	$K, \text{ м}^3/\text{с}$
0,3	0,8	0,375	1,74	0,216	22,38	2,16	0,174
0,5	0,8	0,775	2,38	0,326	24,9	1,04	0,493
0,7	0,8	1,295	3,01	0,43	26,76	0,63	1,016
0,9	0,8	1,935	3,65	0,53	28,26	0,42	1,78
1,0	0,8	2,3	3,962	0,58	28,93	0,35	2,27

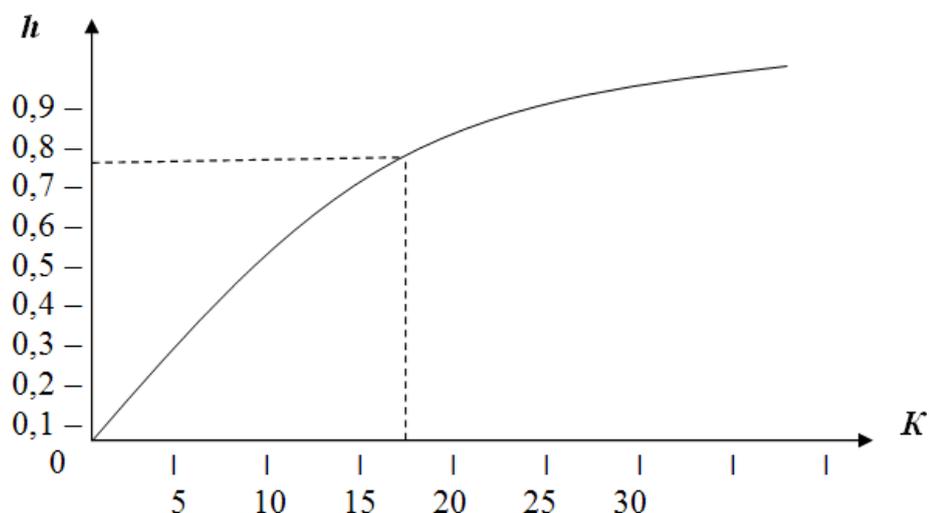


Рисунок 4.2 – Приклад побудови кривої залежності $K = f(h)$

Таблиця 4.2

Вихідні дані для розрахунків згідно індивідуального варіанту.

№ варіанту	Витрата, Q , м/с	Схил, дна каналу i	Коефіцієнт закладання укошу, m	Коефіцієнт шорсткості, n	Ширина по дну, b м
1	2	3	4	5	6
1	0,60	0,001	1,5	0,03	0,8
2	0,65	0,002	1,5	0,03	0,6
3	0,70	0,003	1,25	0,03	0,7
4	0,75	0,003	1,3	0,03	0,8
5	0,80	0,002	1,5	0,03	0,6
6	0,85	0,002	0,25	0,03	0,7
7	0,90	0,001	1,25	0,03	0,8
8	0,95	0,001	1,5	0,03	0,6
9	1,00	0,003	1,25	0,03	0,7
10	1,50	0,003	2	0,03	0,8
11	0,50	0,002	1,5	0,03	0,6
12	0,55	0,001	1,25	0,03	0,7
13	0,60	0,001	2,5	0,03	0,8
14	0,65	0,002	1,5	0,03	0,6
15	0,70	0,003	1,25	0,03	0,7
16	0,75	0,003	1,5	0,03	0,8
17	0,80	0,002	1,0	0,03	0,6
18	0,85	0,003	3,0	0,03	0,7
19	0,90	0,001	3,5	0,03	0,8
20	0,95	0,002	1,25	0,03	0,6
21	1,00	0,001	0,25	0,03	0,7
22	1,05	0,002	0,5	0,03	0,8
23	1,00	0,003	0,55	0,03	0,6

24	1,50	0,003	0,25	0,03	0,7
25	1,65	0,003	1,5	0,03	0,8
26	1,75	0,002	1,5	0,03	0,6
27	1,85	0,003	1,25	0,03	0,7
28	1,55	0,002	1,25	0,03	0,8
29	1,20	0,002	0,5	0,03	0,6
30	1,90	0,003	1,25	0,03	0,7

Відстань від поверхні води до дна – h дорівнює 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,0 м та приймається однаковими для всіх варіантів.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яка мета розрахунку?
2. Які початкові дані необхідні для розрахунку?
3. Що таке витратна характеристика?
4. Як визначається змочений периметр?
5. Як визначити гідравлічний радіус?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ НАСИПУ НА СЛАБКІЙ ОСНОВІ

Мета роботи: навчитися оцінювати стійкість основи земляного полотна (дамб, насипів) на слабких ґрунтах; оволодіти методикою розрахунку та визначати коефіцієнт стійкості проти випирання; розглянути та обґрунтувати інженерні заходи щодо забезпечення стабільності споруди.

У подібних умовах працюють дамби обвалування, дамби на переходах через водотоки, насипи земляного полотна. В такому випадку деформація насипу може відбутись за рахунок вижимання ґрунту з-під насипу в різні боки.

Відповідно з дослідженнями Л. К. Юргенсока у всій товщі слабого ґрунту, що стискується, розвиток пластичних деформацій відбувається у разі питомого тиску:

$$p = \frac{cB}{2H}, \quad (5.1)$$

де p – максимальна ордината трикутної епюри тиску, рівновеликої трапецеїдальній епюрі тиску від насипу, кг/см^2 ;

H – товщина шару слабого ґрунту, що деформується, м;

B – ширина насипу по низові, м;

C – коефіцієнт зчеплення ґрунту, кг/см^2 .

Ця формула справедлива для $H \leq B/4$.

Коефіцієнт стійкості підстилаючого ґрунту проти випирання визначають за формулою:

$$K = \frac{p}{q}, \quad (5.2)$$

де p – гранично допустимий тиск на слабкий ґрунт; q – питомий тиск насипу на слабкий ґрунт, $\text{кг}/\text{см}^2$. Якщо коефіцієнт стійкості менше 1, тоді можуть бути проведені такі заходи: відсипання насипу з більш легких матеріалів чи зменшення його висоти, якщо це можливо за умовами проєктування; відсипання насипу на основу з накатника; вилучення частини слабого підстилаючого ґрунту.

Варіанти для розрахунку

№ п/п	Висота насипу (H), м	ширина насипу поверху (B), м	закладення укосів (m)	Зчеплення C, $\text{кг}/\text{см}^2$	Об'ємна вага ґрунту насипу γ , $\text{кг}/\text{см}^3$	Підстилаючий ґрунт потужністю, м
1	8,3	11,0	1:1,5	0,3	0,0017	3,5
2	9,2	8,0	1:1,5	0,3	0,0017	3,6
3	7,6	9,0	1:1,5	0,32	0,0017	3,4
4	6,7	8,5	1:1,5	0,32	0,0017	3,5
5	8,5	10,5	1:1,5	0,35	0,0017	3,6
6	7,5	7,5	1:1,75	0,35	0,00018	3,7
7	6,5	7,0	1:1,75	0,40	0,00018	3,8
8	7,7	8,0	1:1,75	0,40	0,00018	3,4
9	8,2	10,0	1:1,75	0,38	0,00018	3,5
10	7,9	10,4	1:1,75	0,38	0,00019	3,3
11	6,9	9,8	1:1,25	0,42	0,00019	3,2
12	8,6	7,8	1:1,25	0,32	0,00019	3,4
13	8,3	6,5	1:1,25	0,40	0,00017	3,5
14	6,8	6,9	1:1,25	0,33	0,00017	3,6
15	8,2	6,0	1:1,25	0,31	0,00017	3,7

Приклад розрахунку стійкості насипу на слабкій основі

Висота насипу (H) 8 м, ширина його по верху (B) 10 м, закладення укосів (m) 1:1,5. Підстилаючий ґрунт – шар водонасиченого мулистого ґрунту потужністю 3,5 м із зчепленням $C = 0,3 \text{ кг}/\text{см}^2$. Нижче розташована щільна глина. Кут внутрішнього тертя близький до нуля. Об'ємна вага ґрунту насипу $\gamma = 0,0017 \text{ кг}/\text{см}^3$. $B_{\text{низ}} = 34 \text{ м}$ (розмір з побудови рисунку)

Розв'язання

1. Визначаємо площу перерізу насипу:

2.

$$\omega = \frac{B+(B+2 \cdot m \cdot H)}{2} \cdot H = \frac{10+(10+2 \cdot 1,5 \cdot 8)}{2} \cdot 8 = 176 \text{ м}^2$$

2. Трикутник з основою і площею, рівними насипу, повинен мати висоту:

$$H = \frac{2 \cdot \omega}{B_{\text{низ}}} = \frac{2 \cdot 176}{34} = 10,35 \text{ м}$$

3. Гранично допустиме навантаження на підстилаючий ґрунт:

$$p = \frac{CB}{2H} = \frac{0,3 \cdot 34 \cdot 100}{2 \cdot 3,5 \cdot 100} = 1,46 \text{ кг/см}^2,$$

4. Питомий тиск насипу складе (по осі насипу):

$$q = H \cdot \gamma = 10,35 \cdot 100 \cdot 0,0017 = 1,76 \text{ кг/см}^2.$$

5. Коефіцієнт стійкості підстилаючого ґрунту проти випирання:

$$K = \frac{p}{q} = \frac{1,46}{1,76} = 0,83,$$

Коефіцієнт стійкості насипу менше 1 м, тому буде вижимання з-під насипу слабкого ґрунту. Розглянемо варіанти забезпечення стійкості насипу.

Зменшення висоти насипу. За коефіцієнта стійкості $K = 1,5$ тиск на підстилаючий ґрунт не повинен перевищувати величини:

$$p_1 = \frac{1,46}{1,5} = 0,97 \text{ кг/см}^2.$$

Це відповідає вазі стовпа ґрунту висотою:

$$h = p_1 / \gamma = \frac{0,97}{0,0017} = 5,7 \text{ м.}$$

Ця висота є висотою трикутника рівновеликого трапецієдного насипу і має з ним рівні основи. Зіставляємо рівняння для площ трикутника і насипу:

$$\frac{10+10+2 \cdot 1,5 \cdot x}{2} \cdot x = \frac{5,7 \cdot (10+2 \cdot 1,5 \cdot x)}{2},$$

де x – висота насипу. У результаті перетворення рівняння отримаємо квадратне рівняння

$$3x^2 + 2,9x - 57 = 0,$$

вирішуючи яке, одержуємо $x = 3,90$ м.

Таким чином, для забезпечення стійкості насипу висота його має бути зменшена на 4,10 м, тобто більше ніж удвічі.

У випадку відсипання насипу на накатник граничне навантаження, що витримує основа, буде:

$$p = \frac{2CB}{H} = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 1700}{350} = 2,9 \text{ кг/см}^2.$$

Коефіцієнт стійкості:

$$K = \frac{p}{q} = \frac{2,9}{1,76} = 1,68 \approx 1,50 \text{ кг/см}^2.$$

Визначаємо, наскільки має бути зменшена товщина шару слабкого ґрунту, щоб коефіцієнт стійкості був 1,50.

Граничне навантаження, що витримує основний шар ґрунту, має бути:

$$p = 1,5(p_i + 0,0017h_i) = 1,5(1,76 + 0,0017h_i),$$

де h_i – товщина шару насипу, що буде відсипаний для компенсації вилученого шару мулистого ґрунту за умови збереження постійності робочої позначки насипу.

Звідси:

$$p = \frac{CB}{H}, \quad H_i = H - h_i = 350 - h_i,$$

де H – товщина шару ґрунту, м; H_i – товщина шару слабкого ґрунту, що залишається під насипом.

Прирівнюючи значення

$$1,5(1,76 + 0,0017h_i) = \frac{CB}{H},$$

і перетворюючи, одержуємо рівняння

$$0,17h_i^2 + 116,5h_i - 27600 = 0.$$

Вирішуючи це рівняння, отримаємо $h_i = 1,86$ м. Таким чином, необхідно вилучити не набагато більше половини товщини шару слабкого ґрунту.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яка мета розрахунку?
2. Які початкові дані необхідні для розрахунку?
3. Що таке витратна характеристика?
4. Чому дорівнює коефіцієнт стійкості?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 РОЗРАХУНОК КАНАЛУ ЗА ВІДСТІЙНИКОМ

Мета роботи: визначити гідравлічні параметри каналу, який відводить очищену воду з відстійника, забезпечуючи стабільний і безпечний рух потоку.

Виконати розрахунок пропускної здатності, швидкості течії, глибини потоку та ухилу дна. У роботі використовуються рівняння гідравліки, методи визначення режиму течії та умови запобігання замуленню каналу.

Таблиця 6.1

Вихідні дані

№ п/п	похил річки, i	коефіцієнт шорсткості облицьовування каналу	витрати каналу $Q_{\text{кан}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	відмітка рівня води в кінці каналу, $\downarrow\text{УВ}_{\text{к.к}}$ м	відстань, на яке необхідно подати воду, $L_{\text{к}}$, км	похил розрахункового каналу $I_{\text{кан}}$	коефіцієнт шорсткості для бетонних облицьовувань каналу, n	ширина каналу по дну, $b_{\text{к}}$, м	коефіцієнт закладання укосів в каналу, $m_{\text{к}}$	відмітка дна русла річки
1	0,011	0,016	17,5	17,5	9,0	0,00026	0,0220	8,0	2,0	12,25
2	0,0106	0,017	18,0	17,6	8,0	0,00027	0,0223	8,2	2,0	12,0
3	0,0107	0,015	18,6	17,7	5,0	0,00028	0,0222	7,8	1,75	12,2
4	0,0105	0,016	15,9	17,3	6,0	0,00029	0,0224	8,4	1,75	12,1
5	0,0108	0,015	20,0	18,0	7,5	0,00025	0,0225	7,9	2,0	12,3
6	0,0109	0,017	19,3	16,9	9,5	0,00028	0,0225	7,8	2,25	12,0
7	0,011	0,018	17,9	17,2	8,5	0,00027	0,0223	7,9	2,0	11,85
8	0,012	0,019	17,5	18,2	5,5	0,00026	0,0224	7,5	1,75	12,15
9	0,0115	0,016	18,4	17,6	6,5	0,00029	0,0225	8,0	2,25	12,10
10	0,0105	0,015	21,5	18,1	9,5	0,00027	0,0226	7,7	2,0	12,0
11	0,0104	0,017	20,6	17,5	10,5	0,00026	0,0220	8,2	2,0	12,25
12	0,0112	0,018	20,3	18,0	11,0	0,00028	0,0221	7,5	2,5	12,5
13	0,0106	0,016	19,8	17,4	12,0	0,00029	0,0222	7,6	2,5	12,75
14	0,0108	0,015	20,7	17,0	8,6	0,00028	0,0223	7,9	1,75	13,0
15	0,0111	0,016	16,7	16,5	9,8	0,00027	0,0225	8,3	1,75	13,25

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

- ♣ перевищення форсованого рівня над НПУ – 1,0 м;
- ♣ похил річки – 0,0105;
- дані по каналу:
- ♣ коефіцієнт шорсткості облицьовування каналу – 0,016;
- ♣ витрати каналу $Q_{\text{кан}} = 21,0 \text{ м}^3/\text{с}$
- ♣ відмітка рівня води в кінці каналу – $\downarrow\text{УВ}_{\text{к.к}} = 17,50 \text{ м}$;
- ♣ відстань, на яке необхідно подати воду – $L_{\text{к}} = 10 \text{ км}$;
- ♣ похил розрахункового каналу – $I_{\text{кан}} = 0,00028$;
- ♣ коефіцієнт шорсткості для бетонних облицьовувань каналу – $n = 0,0225$;
- ♣ ширина каналу по дну – $b_{\text{к}} = 8,0 \text{ м}$;
- ♣ коефіцієнт закладання укосів каналу – $m_{\text{к}} = 2,0$.
- ♣ швидкість вітру – 20 м/с.
- ♣ відмітка дна русла річки – 12,25 м.

На ділянці, що сполучає відстійник з каналом, влаштовують колодязь змішувача завглибшки 0,5 м і завдовжки близько 3,5 глибин над дном колодязя

або водобійну стінку крізної конструкції. Вихідні відкритки приймають по типу косих площин або пірнаючих стінок.

Найпоширенішою (за умов виробництва робіт і стійкості укосів) формою поперечного перетину каналів у разі зв'язних ґрунтів є трапецеїдальна, вживана для енергетичних, водо постачальницьких і зрошувальних каналів. У зрошувальних каналах розрахункові швидкості не повинні перевершувати допустимих по розмиву швидкостей для ґрунту або одягу каналу (див. табл. 6.2) і не повинні бути нижчими гранично допустимих по замулюванню і заростанню каналів. Звичайно для зрошувальних каналів розрахункові швидкості лежать в межах $0,6 \div 1,0$ м/с. Для бетонуваних каналів вони досягають $2,0 \div 3,0$ м/с.

Нерозмиваючі середні швидкості потоку, що допускаються для зв'язних ґрунтів при $h = 1,0 - 3,0$ м.

Таблиця 6.2

Ґрунт	Нерозмиваючі швидкості $V_{нр}$, м/с, що допускаються
Супісок: слабкий	0,7...0,8
щільний	1,0
Суглинок: легкий	0,7...0,8
важкий	1,1...1,2
Глина: м'яка	0,7
щільна	1,5...1,8

Витрата каналу $Q_{кан} = 21,0$ м³ /с, ґрунт, в якому він проходить, – супісок. Приймаємо: канал трапецеїдального перетину із закладанням укосів, допускаюча нерозмиваюча швидкість $V = 0,95$ м/с.

Живий перетин каналу

$$\omega_{кан} = (b_{кан} + m \cdot h_{к}) \cdot h_{к} = \frac{Q_{кан}}{V} = \frac{21,0}{0,95} = 22,10 \text{ м}^2$$

де $b_{кан}$ – ширина каналу по дну, м; $h_{к}$ – глибина води в каналі, м; m – коефіцієнт заставляння укосів каналу, що приймається залежно від ґрунтів, що складають русло каналу (див. табл. 6.3).

Таблиця 6.3

Коефіцієнти закладання укосів каналів

Ґрунти, що складають русло каналу	Коефіцієнти закладання підводних укосів каналів
Дрібнопіщані	3,0...3,5
Пісок, щільний супісок, суглинок	1,5...2,0
Важкий суглинок, глини	1,0..1,5

Ширина каналу по дну $b_{\text{кан}} = 8,0$ м.

Тоді глибина його визначиться методом підбору із залежності:

$$(b_{\text{кан}} + m \cdot h_{\text{к}}) \cdot h_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{кан}}}{V};$$
$$(8,0 + 1,5 \cdot h_{\text{к}}) \cdot h_{\text{к}} = 22,10$$

тоді $h_{\text{к}} = 2,0$ м,

що відповідає гідравлічно найвигіднішому для практики трапецеїдальному перетину з рекомендованими значеннями $\beta_{\text{max}} = 2,62 - 4,42$:

$$\beta_{\text{max}} = \frac{b_{\text{кан}}}{h_{\text{к}}} = \frac{8,0}{2,0} = 4,0$$

Похил каналу визначимо по формулі Шезі, де

$$R = \frac{\omega_{\text{кан}}}{b_{\text{кан}} + 2 \cdot h_{\text{к}} \cdot \sqrt{1 + m^2}} = \frac{22,1}{8,0 + 2 \cdot 2,0 \cdot \sqrt{1 + 1,5^2}} = 1,45 \text{ м};$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,0225} \cdot 1,45^{1/6} = 47,3 \text{ м}^{0,5} / \text{с},$$

де n – коефіцієнт шорсткості, приймається рівним $n = 0,025 - 0,0225$ для нормально експлуатованих каналів в земляному руслі при величині витрати

$$Q_{\text{кан}} = 1,0 \dots 25,0 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Для цих умов похил дна каналу буде рівний:

$$I_{\text{кан}} = \frac{Q_{\text{кан}}^2}{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R} = \frac{21,0^2}{22,10^2 \cdot 47,3^2 \cdot 1,45} = 0,00028.$$

При робочій відмітці рівня води у відстійнику повинна бути не нижче

$$\downarrow \text{УО} = \downarrow \text{УВ}_p + Z = 64,0 + 6,85 = 70,85 \text{ м}.$$

Відмітку нормального підпірного рівня гідровузла призначають з умови забезпечення командування над рівнем магістрального каналу в період максимального водозабору. При Z приймаємо 6,85 м. Відмітка дна річки – 64,0 м;

де Z – перевищення рівня води у відстійнику над паводковим рівнем річки в створі виходу пульповоду, м.

Рівень води на початку магістрального каналу буде рівний

$$\downarrow \text{УВ}_{\text{н.к.}} = \downarrow \text{УО} - z_2 = 70,85 - 0,092 = 70,76 \text{ м}.$$

Втрати на вході в магістральний канал визначаємо по залежності :

Сумарні втрати на вході в регулятор і магістральний канал:

$$\sum Z = z_1 + z_2 = 0,12 + 0,092 = 0,212 \text{ м}$$

$$z_1 = \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{1,05 \cdot 1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,12 \text{ м.}$$

$$z_2 = \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} = \frac{1,05 \cdot 1,31^2}{2 \cdot 9,81} = 0,092 \text{ м}$$

де α – коефіцієнт нерівномірного розподілу швидкостей води в руслі

Приймається рівним 1,05;

V – швидкість на вході в магістральний канал, рівна:

$$V = \frac{Q_{\text{кан}}}{\omega} = \frac{Q_{\text{кан}}}{h_{\text{к}} \cdot b_{\text{к}}} = \frac{21,0}{2 \cdot 8} = 1,31 \text{ м/с}$$

Відмітка НПУ буде рівна:

$$\downarrow_{\text{НПУ}} = \downarrow_{\text{н.к.}} + h_{\text{к}} + \sum Z = 18,3 + 2 + 0,212 = 20,5 \text{ м.}$$

Відмітка дна на початку каналу рівна відмітці порогу вихідного шлюзу-регулятора:

$$\downarrow_{\text{н.к.}} = \downarrow_{\text{УО}} - h_{\text{к}} = 70,85 - 2,0 = 68,85 \text{ м.}$$

Знаходимо глибину « $h_{\text{к}}$ », відповідну даній витраті каналу. Визначення « $h_{\text{к}}$ » виконуємо методом підбору, задаючись значенням глибини « $h_{\text{к}}$ » і визначаючи відповідну їй витрату.

Рівні в річці визначається залежністю:

$$Z = \downarrow_{\text{ДН}} + Q^{0,12}, \text{ м;}$$

Поріг входу наносоперехоплюючих галерей призначаємо на відмітці понурної частини вузла, рівної 14,75 м, з урахуванням відкладення перед понуром шару наносів.

$$\downarrow_{\text{ПН}} = \downarrow_{\text{ДН}} + 2,5 = 12,25 + 2,5 = 14,75 \text{ м}$$

Визначаємо відмітку дна в кінці каналу:

$$\downarrow_{\text{к.к.}} = \downarrow_{\text{УВ}_{\text{к.к}}} - h_{\text{к}} = 17,50 - 2 = 15,50 \text{ м.}$$

Визначаємо відмітку дна на початку каналу:

$$\downarrow_{\text{н.к.}} = \downarrow_{\text{к.к.}} + I_{\text{кан}} \cdot L_{\text{кан}} = 15,5 + (0,00028 \cdot 10000) = 18,3 \text{ м.}$$

Відмітка порогу водозабору, з урахуванням виконання криволінійного порогу для осадження наносів перед головним регулятором магістрального каналу, буде рівна:

$$\downarrow\text{ПВ} = \downarrow\text{Н.к.} - 1,0 = 18,3 - 1,0 = 17,3 \text{ м.}$$

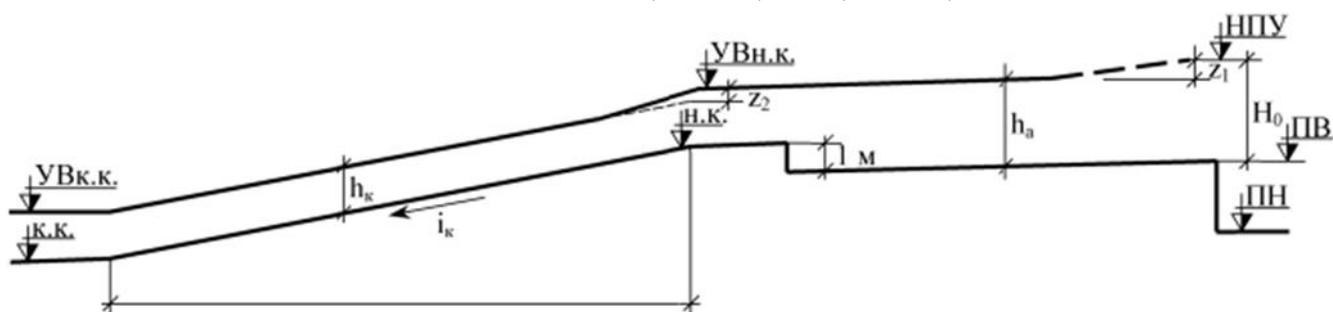


Рисунок 6.1 – Схема спрягання каналу

h_k – глибина каналу, h_a – глибина на порозі; H_0 – напір на порозі, z_2 – втрати на вході в магістральний канал, z_1 – втрати на вході в регулятор; $\downarrow\text{к.к.}$ – відмітка дна в кінці каналу; $\downarrow\text{п.к.}$ – відмітка дна на початку каналу; $\downarrow\text{РВк.к.}$ – рівень води в кінці каналу; $\downarrow\text{РВп.к.}$ – рівень води на початку каналу; $\downarrow\text{НПР}$ – відмітка нормального підпільного рівня; $\downarrow\text{ПВ}$ – відмітка порогу водозабору; $\downarrow\text{ПН}$ – відмітка понуру; L_k – довжина каналу; i_k – похил каналу.

Водозабір виконуємо у вигляді відкритого регулятора з 2 прогонами.

Напір на порозі водозабору призначаємо (рис. 6.1):

$$H_0 = \downarrow\text{НПУ} - \downarrow\text{ПВ} = 20,5 - 17,3 = 3,2 \text{ м.}$$

$$\downarrow\text{ФПУ} = \downarrow\text{НПУ} + 1,0 = 20,5 + 1,0 = 21,5 \text{ м,}$$

H_0 – напір на порозі рівний 3,2 м, швидкісним напором при підпільному б'єфі нехтуємо;

h_a – глибина на порозі, визначається з урахуванням втрат на вході в регулятор, м

$$h_a = H_0 - z_1 = 3,2 - 0,12 = 3,08 \text{ м;}$$

z_1 – втрати на вході в регулятор, м.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому дорівнює коефіцієнт Шезі?
2. Живий перетин каналу це?
3. Як розраховуються втрати на вході в регулятор?

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

За результатами виконання практичних робіт з дисципліни студенти можуть максимально отримати **60 балів**. Бали розподіляються за критеріями, що відображають як якість виконання, так і глибину розуміння матеріалу.

Назва роботи	Критерії оцінювання	Максимальна кількість балів	Опис критеріїв
Практична робота №1 Проектування дамб обвалування	Теоретична частина	2	Розуміння принципів формування хвиль, умов їх розгону, а також конструктивних елементів дамб обвалування
	Правильність розрахунків	6	Точний розрахунок параметрів хвилі, висоти нахату та визначення позначки гребеня дамби
	Оформлення та висновки	2	Логічно оформлений звіт, наявність креслень і обґрунтованих висновків
Всього:		10	
Практична робота №2 Припливні електростанції, малі ГЕС: принцип роботи і розрахунок	Теоретична частина	2	Знання принципів роботи малих ГЕС, класифікації гідроагрегатів і особливостей припливних електростанцій
	Правильність розрахунків	6	Коректне визначення потужності, напору, витрати води та ККД гідроагрегатів
	Оформлення та висновки	2	Акуратне оформлення розрахунків, наявність пояснень і висновків
Всього:		10	
Практична робота №3 Гідравлічний розрахунок паводкового водоскиду	Теоретична частина	2	Розуміння принципів роботи водоскидних споруд і умов пропуску паводкових витрат
	Правильність розрахунків	6	Точне визначення пропускної здатності водоскиду, швидкості потоку та рівня води
	Оформлення та висновки	2	Графічна схема водоскиду, чітко викладені висновки щодо ефективності споруди
Всього:		10	
Практична робота №4 Гідравлічний розрахунок водопостачального каналу	Теоретична частина	2	Знання основ проектування каналів, режимів течії та методів розрахунку витрат
	Правильність розрахунків	6	Визначення глибини потоку, швидкості, ухилу та геометричних параметрів каналу
	Оформлення та висновки	2	Графічне відображення профілю каналу, логічні висновки
Всього:		10	
Практична робота №5	Теоретична частина	2	Розуміння факторів, що впливають на стійкість насипів, та методів їх зміцнення

Назва роботи	Критерії оцінювання	Максимальна кількість балів	Опис критеріїв
Розрахунок стійкості насипу на слабкій основі	Правильність розрахунків	6	Визначення коефіцієнта стійкості, сил зсуву та параметрів ґрунту
	Оформлення та висновки	2	Графічне зображення схеми насипу, чіткі технічні висновки
Всього:		10	
Практична робота №6 Розрахунок каналу за відстійником	Теоретична частина	2	Розуміння принципів осадження частинок у відстійниках і гідравліки каналних потоків
	Правильність розрахунків	6	Точне визначення швидкості осідання, глибини потоку, параметрів каналу
	Оформлення та висновки	2	Акуратна схема з поясненнями, коректні висновки щодо ефективності очищення
Всього:		10	
Загальна кількість балів за практичні роботи з дисципліни		60	

ЛІТЕРАТУРА

1. Хлапук М.М., Шинкарук Л.А., Дем'янюк А.В., Дмитрієва О.А. Гідротехнічні споруди. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2013. 241 с.
2. Анісімов К.І., Великий Д.І. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Гідровузол із греблею із ґрунтових матеріалів». Одеса, 2012. 51 с.
3. Анісімов К.І., Великий Д.І. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Водозливна гребля на нескальній основі». Одеса, 2012. 61 с.
4. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, К., 2010. 41 с.
5. В.П. Масальський, А.Б. Марченко, С.В. Роговський. Гідротехнічні споруди садово-паркових об'єктів: навчально-методичний посібник. Біла Церква, 2021. 268с.
6. Маковецький Б. І. Дьяченко О. С. Трошин М. Ю. Дослідження технічного стану водоспускних пристроїв гідротехнічних споруд. Український журнал будівництва та архітектури, № 1 (013), 2023 р.

Навчальне видання

Чушкіна Ірина Вікторівна
Янко Валентин Вікторович
Іванова Ганна Павлівна

ГІДРОТЕХНІЧНІ БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра
освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво, водна
інженерія та водні технології»
зі спеціальності 194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні
технології

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 19.05.2025. Авт. арк. 3,02.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.