

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування

Кафедра гідротехнічного будівництва та гідравліки

01-04-72М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань
та самостійної роботи з навчальної дисципліни

«Експлуатація гідротехнічних споруд»

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

Рекомендовано
науково-методичною радою з якості
ННІЕАВГ
протокол № 1 від 26.09.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних завдань та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація гідротехнічних споруд» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» [Електронне видання] / Корнійчук В. І. – Рівне : НУВГП, 2023. – 28 с.

Укладач: Корнійчук В. І., к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Відповідальний за випуск – Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент, завідувач кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки.

Керівник освітньо-професійної програми

Шинкарук Л. А.

© В. І. Корнійчук, 2023

© НУВГП, 2023

Зміст

Зміст	3
Вступ.....	4
1. Структура навчальної дисципліни.....	4
1.1 Перелік і короткий зміст змістових модулів та тем лекцій.....	4
1.2 Теми практичних занять	6
1.3 Самостійна робота	6
1.4 Методи контролю	7
2. Практичні завдання	9
2.1 Розрахунок дренажного колектора трубчастого дренажу земляної греблі	9
2.2 Побудова кривих депресії в тілі земляних гребель з трубчастим дренажем	11
2.3 Розрахунок відкритого каналу при рівномірному русі	15
2.3.1 Побудова кривої витрат для відкритого каналу	15
2.3.2 Максимальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі	18
2.3.3 Мінімальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі	20
2.4 Перетворення повені у водосховищі	22
2.4.1 Розрахунок розмірів автоматичного водозливу з врахуванням акумулюючої здатності водосховища	24
2.4.2 Розрахунок розмірів водозливу із затворами з врахуванням акумуляції повені у водосховищі	25
Рекомендована література	27

Вступ

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Експлуатація гідротехнічних споруд» є споруди гідротехнічних комплексів енергетичних, водогосподарських систем, народного господарства та технологічні процеси забезпечення надійності їх роботи, охорона, нагляд і утримання в належному працездатному стані, управління ними з метою вирішення питань підвищення технічного рівня та ефективності роботи на основі сучасних досягнень науки, техніки, передового досвіду із забезпеченням раціонального використання водних, земельних і енергетичних ресурсів та охорони навколишнього середовища. Основною метою вивчення навчальної дисципліни «Експлуатація гідротехнічних споруд» є підготовка магістрів, здатних ефективно використовувати отримані знання при експлуатації гідротехнічних споруд, при виконанні ремонтно-відновлювальних робіт, реконструкції споруд, а також проведенні наукових досліджень в цій галузі.

Завдання вивчення навчальної дисципліни полягає у оволодінні майбутніми фахівцями необхідними знаннями з основ технічної експлуатації, досліджень річкових гідротехнічних споруд та принципами управління спорудами, що входять до складу енергетичних та водогосподарських систем.

Отримані теоретичні знання застосовуються студентами в процесі виконання практичних завдань.

За навчальними планами освітньо-професійної програми «Гідротехнічне будівництво» дисципліна представлена лекційним курсом, практичними заняттями та самостійною роботою. Кількість кредитів ECTS – 3,0, загальний обсяг годин дисципліни складає 90 год.

1. Структура навчальної дисципліни

1.1 Перелік і короткий зміст змістових модулів та тем лекцій

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Загальні відомості про експлуатацію гідротехнічних споруд.

Експлуатація водопідпірних споруд.

ТЕМА 1. Загальні відомості про експлуатацію гідротехнічних споруд.

(лекції – 2/0 год.; практичні заняття – 2/1 год.; самостійна робота – 5/10 год.)

1.1. Задачі, структура і організація служби експлуатації.

1.2. Умови роботи гідротехнічних споруд.

1.3. Надійність гідротехнічних споруд, фактори, що впливають на довговічність та тривалість міжремонтних періодів.

1.4. Структура і організація ремонтно-відновлювальних робіт.

1.5. Інструкції, документація, календарні план та звітність з експлуатації гідротехнічних споруд.

1.6. Система нагляду та контролю за роботою споруд.

ТЕМА 2. Спостереження за ґрунтовими водопідпірними спорудами.

(лекції – 2/0,5 год.; практичні заняття – 3/2 год.; самостійна робота – 10/15 год.)

2.1. Загальні положення.

2.2. Візуальні спостереження.

2.3. Призначення, конструкція та розміщення реперів, марок та приладів для спостереження за переміщенням споруд.

2.4. Конструкція, розміщення п'єзометрів та інших приладів для спостереження за фільтрацією в ґрунтових греблях.

2.5. Спостереження за напруженим станом ґрунтових споруд.

ТЕМА 3. Спостереження за масивними бетонними спорудами.

(лекції – 2/0,5 год.; практичні заняття – 3/1 год.; самостійна робота – 10/15 год.)

3.1. Візуальні спостереження.

3.2. Призначення, конструкція та розміщення приладів для спостереження за осіданням, горизонтальними переміщеннями та нахилами.

3.3. Конструкція та принцип розміщення приладів для спостереження за тріщинами і швами.

3.4. Способи спостереження за фільтрацією через бетон та основу гребель.

3.5. Розміщення контрольно-вимірювальної апаратури в масивних бетонних спорудах.

3.6. Експлуатація гідромеханічного обладнання.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

Експлуатація водопропускних, спрягаючих споруд, водозаборів та відстійників. Експлуатація водосховищ. Експлуатація споруд під час будівництва. Ремонтно-відновлювальні роботи.

ТЕМА 4. Експлуатація водопропускних споруд.

(лекції – 2/0,5 год.; практичні заняття – 2/1 год.; самостійна робота – 10/10 год.)

4.1. Пропуск води, льоду, шуги, плаваючого сміття.

4.2. Пропуск повеней: підготовчий період, пропуск повеней, післяповеневий період.

4.3. Спостереження за розмивами у нижньому б'єфі.

4.4. Спостереження за руслами та експлуатація берегорегуляційних споруд.

ТЕМА 5. Експлуатація каналів, споруд на них, водозаборів та відстійників.

(лекції – 2/0,5 год.; практичні заняття – 2/1 год.; самостійна робота – 10/10 год.)

5.1. Експлуатаційні режими каналів.

5.2. Фільтрація води, боротьба із заростанням та замуленням каналів.

5.3. Особливості експлуатації спрягаючих та водопровідних споруд.

5.4. Технічні заходи експлуатації на водозабірних вузлах.

5.5. Боротьба із замуленням верхнього та нижнього б'єфів наносами.

5.6. Очистка відстійників.

ТЕМА 6. Експлуатація водосховищ.

(лекції – 2/0 год.; практичні заняття – 2/1 год.; самостійна робота – 5/10 год.)

6.1. Спостереження за акваторією, переформуванням берегів, поповзнями, заростанням та замуленням водосховищ.

6.2. Фільтрація води, боротьба із заростанням та замуленням.

6.3. Підготовка водосховища до пропуск повені.

6.4. Санітарні пропуски.

6.5. Експлуатація гідровузла в будівельний період: пропуск будівельних витрат, частковий ввід споруд у експлуатацію.

ТЕМА 7. Ремонтно-відновлювальні роботи.

(лекції – 2/0 год.; практичні заняття – 2/1 год.; самостійна робота – 10/10 год.)

7.1. Ремонт пошкоджень гребнів, укосів ґрунтових гребель, ремонт протифільтраційних елементів, дренажних систем.

7.2. Ремонт і відновлення бетонних споруд.

7.3. Проведення ремонтних робіт у нижньому б'єфі гідротехнічних споруд.

7.4. Санітарні пропуски.

7.5. Профілактика та ремонт металоконструкцій.

1.2 Теми практичних занять

- Розрахунок дренажного колектора трубчастого дренажу земляної греблі (2 год).
- Побудова кривих депресії в тілі земляних гребель з трубчастим дренажем (3 год).
- Побудова кривої витрат для відкритого каналу (2 год).
- Максимальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі (2 год).
- Мінімальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі (2 год).
- Розрахунок розмірів автоматичного водозливу з врахуванням акумулюючої здатності водосховища (3 год).
- Розрахунок розмірів водозливу із затворами з врахуванням акумуляції повені у водосховищі (2 год).

1.3 Самостійна робота

Розподіл 60 годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

- 24 годин – вивчення літератури по курсу і розробка лекційних конспектів;
- 14 години – підготовка до контрольних заходів;
- 22 годин – виконання практичних завдань.

Завдання для самостійної роботи – 60 годин

1. Принципи розміщення контрольно-виміральної апаратури у спорудах, автоматизація збору та обробки інформації (10 год).
2. Прилади для спостереження за фільтрацією в ґрунтових греблях. Побудова кривих депресії та карт гідроізогіпс (10 год).
3. Прилади для спостереження за деформацією ґрунтових споруд (8 год).
4. Прилади та визначення деформацій, напружень і переміщень бетонних споруд, розрахунок просторових переміщень секцій бетонних споруд (8 год).
5. Ремонтно-відновлювальні роботи споруд з ґрунтових матеріалів (8 год).
6. Способи ремонту пошкоджень бетонних споруд (8 год).
7. Методи підсилення цементаційних завіс, дренажів гідротехнічних споруд (6 год).

1.4 Методи контролю

Методи оцінювання знань базується на проведенні контролю роботи студентів та оцінюванні ступеня засвоєння пройденого матеріалу.

Поточний контроль знань студентів здійснюється під час лекційних та практичних занять таким чином:

- усне опитування студентів під час лекцій та лабораторних занять;
- перевірка та захист виконаних практичних та індивідуальних завдань;
- складання модульного контролю.

Сумарна кількість балів за практичні заняття – 60 балів. Ступінь засвоєння студентами вивченого матеріалу оцінюється шляхом тестування з використанням технічних засобів. Поточний контроль знань студентів (змістові модулі 1, 2) та підсумковий контроль знань (залік) проводяться у Центрі незалежного оцінювання знань НУВГП. Знання за першим змістовим модулем оцінюються у 20 балів, за другим – у 20 балів, а підсумковий контроль знань (залік) – 40 балів.

Таким чином, максимальна оцінка знань з навчальної дисципліни “Експлуатація гідротехнічних споруд” становить 100 балів.

Структуру оцінки поточного (змістові модулі 1, 2) та підсумкового (залік) контролів знань за трьома рівнями (1 – достатній рівень складності, 2 – вище достатнього рівня складності, 3 – високий рівень складності) показано в таблиці.

**Таблиця формування білетів
тестових поточного контролю знань (модулі 1 і 2)**

Рівень складності	Загальна кількість завдань в базі	Кількість завдань в білеті	Оцінка завдань (бали)	
			за одне	загальна
1	100	20	0,6	0-12
2	30	4	1,0	0-4
3	20	1	4,0	0-4
Всього	150	25		0-20

Запитання 1-го, 2-го та 3-го рівнів допускають лише одну правильну відповідь.

У випадку отримання студентом менше 60 балів за виконання практичних завдань або не проходження хоча б одного змістового модуля, він повинен скласти підсумковий контроль знань (залік) шляхом тестування.

**Таблиця формування тестового завдання
підсумкового контролю знань (залік)**

Рівень складності	Загальна кількість завдань в базі	Кількість завдань в білеті	Оцінка завдань (бали)	
			за одне	загальна
1	200	30	0,9	0-27
2	60	9	1,0	0-9
3	40	1	4,0	0-4
Всього	300	40		0-40

Нормативні документи, що регламентують проведення поточного та підсумкового контролів знань і надають студентам можливість подавати апеляції:

- Положення про навчально-науковий центр незалежного оцінювання Національного університету водного господарства та природокористування, <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/4184>;
- Положення про семестровий поточний та підсумковий контроль навчальних досягнень здобувачів вищої освіти, <http://nuwm.edu.ua/strukturni-pidrozdili/navch-nauk-tsentr-nezalezchno-otsiniuvannia-znan/dokumenty>.

Система оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти (семестровий поточний контроль) зі змінами та доповненнями, <http://nuwm.edu.ua/strukturni-pidrozdili/navch-nauk-tsentr-nezalezchno-otsiniuvannia-znan/dokumenty>

2. Практичні завдання

2.1 Розрахунок дренажного колектора трубчастого дренажу земляної греблі

Метою розрахунків дренажного колектора є визначення його пропускної спроможності та знаходження залежності між глибиною наповнення колектора та фільтраційною витратою, що надходить до нього.

Фільтраційна витрата у дренажному колекторі змінюється у часі дуже повільно, тому рух потоку можна вважати усталеним. Поперечний переріз колектора, його повздовжній похил не змінюються по довжині потоку, отже за усталеного режиму потік буде рівномірним.

Розрахунок колектора при рівномірному русі будемо виконувати за формулою Шезі:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (2.1)$$

де i – похил дна колектора; ω – площа живого перерізу потоку в колекторі, m^2 .

У переважній більшості випадків дренажні колектори виготовляють із круглих бетонних труб (рис. 2.1).

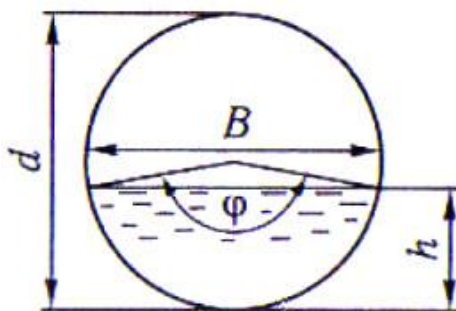


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для гідравлічного розрахунку круглих безнапірних труб

Для такого перерізу характерні наступні характеристики поперечного перерізу в залежності від ступеня їх наповнення потоком.

$$\omega = \frac{d^2}{8} (\varphi - \sin \varphi), \quad (2.2)$$

$$\varphi = 2 \arcsin \left(\frac{B}{d} \right), \quad (2.3)$$

$$B = 2 \sqrt{h(d-h)}, \quad (2.4)$$

φ – центральний кут у радіанах; d – діаметр колектору; h – глибина води в колекторі, m ; B – ширина вільної поверхні потоку, m ; C – коефіцієнт Шезі, $m^{0.5}/c$, обчислюємо за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}, \quad (2.5)$$

R – гідравлічний радіус, m , який дорівнює

$$R = \omega/\chi, \quad (2.6)$$

де χ – змочений периметр, м

$$\chi = \varphi^d/2. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт шорсткості бетонних труб становить $n = 0,014$.

Приклад розрахунку

Визначити пропускну здатність дренажного колектора трубчатого дренажу земляної греблі при наступних вихідних даних: діаметр колектора $d = 0,8\text{м}$; повздовжній похил колектора $i = 0,003$, розрахункова витрата $Q = 35 \text{ м}^3/\text{с}$.

Задаємось значеннями глибин води в колекторі $h = 0,1d; 0,2d; \dots 1,0d$ та обчислюємо значення параметрів $B, \varphi, \omega, \chi, R, C, Q$.

Також знаходимо середні швидкості води потоку V за формулою

$$V = Q/\omega. \quad (2.8)$$

Всі обчислення зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Таблиця обчислень параметрів колектора $B, \varphi, \omega, \chi, R, C, Q$

$h, \text{м}$	$B, \text{м}$	$\varphi, \text{рад}$	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	$R, \text{м}$	$C, \text{ м}^{0,5}/\text{с}$	$Q, \text{л/с}$	$V, \text{м/с}$
0.08	0.48	1.29	0.026	0.51	0.051	43.47	14.04	0.54
0.16	0.64	1.85	0.072	0.74	0.096	48.37	58.90	0.82
0.24	0.73	2.32	0.127	0.93	0.137	51.27	131.71	1.04
0.32	0.78	2.74	0.188	1.10	0.171	53.24	226.64	1.21
0.40	0.80	3.14	0.251	1.26	0.200	54.62	336.27	1.34
0.48	0.78	3.54	0.315	1.42	0.222	55.59	451.84	1.43
0.56	0.73	3.96	0.376	1.59	0.237	56.19	563.08	1.50
0.64	0.64	4.43	0.431	1.77	0.243	56.44	657.39	1.52
0.72	0.48	5.00	0.476	2.00	0.238	56.25	716.80	1.50
0.80	0.00	6.28	0.503	2.51	0.200	54.62	672.55	1.34

За даними таблиці 2.1 будуємо графік $h = f(Q)$ та $h = f_2(V)$ (рис. 2.2).

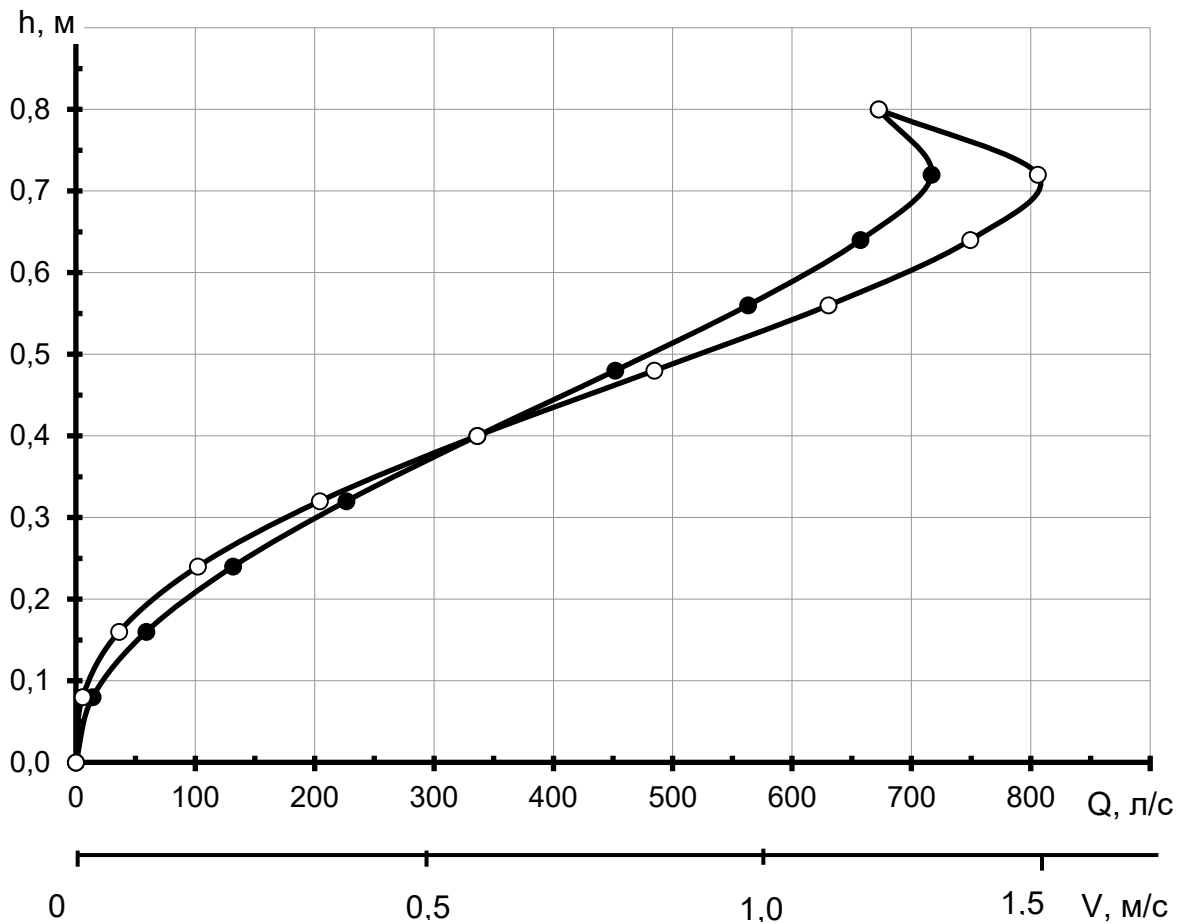


Рисунок 2.2 – Графіки функцій $Q = f_1(h)$, $V = f_2(h)$

Отримані графіки дозволяють визначити витрату та швидкість потоку в залежності від глибини потоку в дренажному колекторі.

2.2 Побудова кривих депресії в тілі земляних гребель з трубчастим дренажем

Для побудови положення кривої депресії в тілі земляної греблі з трубчастим дренажем на водопроникній основі будемо використовувати наступну схему (рис. 2.3) та залежності

$$\frac{q}{k_{гр}} = \frac{H_1^2}{2L_p} + \frac{H_1 T}{L_p + 0,4T} \quad (2.9)$$

де q – питома витрата, $\text{см}^2/\text{с}$;

$k_{гр}$ – коефіцієнт фільтрації ґрунту тіла греблі, $\text{см}/\text{с}$;

H_1 – глибини води у верхньому б'єфі, см ;

L_p – розрахункова довжина, що знаходиться за залежністю

$$L_p = L + \Delta L_B; \quad (2.10)$$

$$\Delta L_B = 0,4(H_1 + T); \quad (2.11)$$

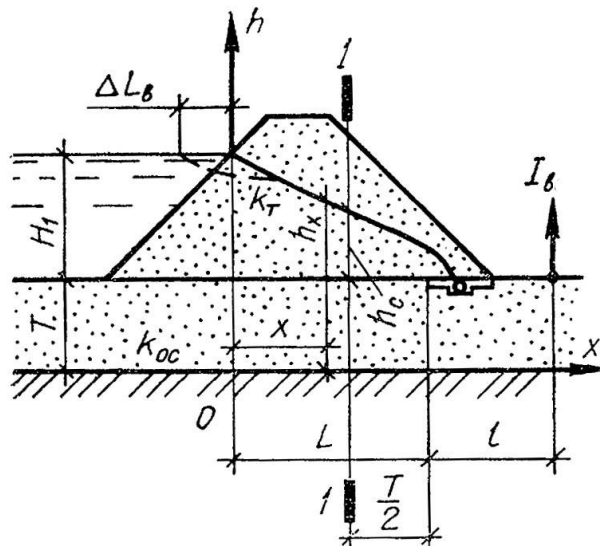


Рисунок 2.3 – Схема до фільтраційного розрахунку земляної греблі на водопроникній основі з трубчастим дренажем

Ординати кривої депресії між перерізом 1-1 та дренажем обраховують за формулою

$$h_x = \frac{h_c^2}{T} \sqrt{\left[\left(\frac{T}{h_c}\right)^2 - 1\right] \cdot \left(2\frac{L-x}{T} + 1\right)}; \quad (2.12)$$

$$h_c = \sqrt{(H_1 + T)^2 - 2\frac{q}{k_{ep}}(L_p - T/2)} - T. \quad (2.13)$$

Ординати кривої депресії між перерізом 1-1 та віссю ординат обраховують за формулою

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k_{ep}}(L - T/2 - x) + (T + h_c)^2} - T. \quad (2.14)$$

Криву депресії візуально коригують в зоні $h_x > (H_1 + T) - \frac{q}{k_{gp}}$.

Приклад

В якості прикладу наведемо побудову кривої депресії в тіл руслової земляної греблі на ПК43+08 Середньодніпровської ГЕС.

Приймаємо розрахунковий рівень води у верхньому б'єфі (згідно варіанту) **ВБ=64,00 м.**

у цьому перерізі:

- глибини води у нижньому б'єфі над віссю трубчастого дренажу $H_1=11,8$ м;
- відстань від урізу води до осі дренажу $L=90,9$ м;
- товщину водопроникної основи приймаємо рівною $T=12,2$ м.

Тоді згідно формул (2.9)-(2.14)

$$L_p = L + \Delta L_B = 90,9 + 9,6 = 100,5\text{м};$$

$$\Delta L_B = 0,4(H_1 + T) = 0,4(11,8 + 12,2) = 9,6\text{м};$$

$$\frac{q}{k_{\text{гр}}} = \frac{H_1^2}{2L_p} + \frac{H_1 T}{L_p + 0,4T} = \frac{11,8^2}{2 \cdot 100,5} + \frac{11,8 \cdot 12,2}{100,5 + 0,4 \cdot 12,2} = 2,06\text{м}$$

$$h_c = \sqrt{(H_1 + T)^2 - 2 \frac{q}{k_{\text{гр}}} (L_p - T/2)} - T =$$

$$= \sqrt{(11,8 + 12,2)^2 - 2 \cdot 2,06 (100,5 - 12,2/2)} - 12,2 = 1,5\text{м}$$

Задаючи значення x , одержуємо значення ординати кривої депресії h_x за формулами (2.12), (2.14) та відмітку, що їй відповідає

$$\downarrow_x = h_x + \downarrow_{\partial p}$$

де $\downarrow_{\partial p} = 52,2\text{м}$ – відмітка осі трубчастого дренажу.

Розрахунок проводимо в табл. 2.2.

Криву депресії виправляємо візуально в зонах, де

$$h_x > (H_1 + T) - \frac{q}{k_{\text{гр}}} = (11,8 + 12,2) - 2,06 = 9,7\text{м}$$

Таблиця 2.2

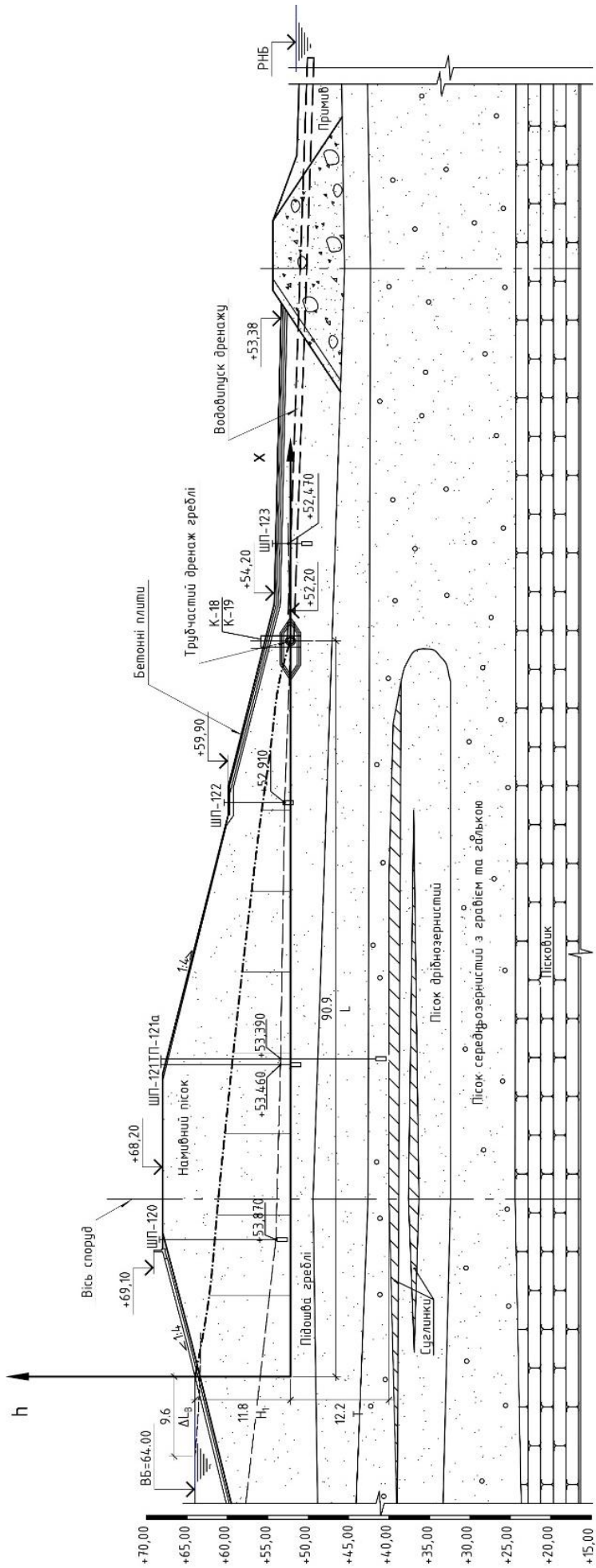
Таблиця обчислень параметрів кривої депресії на ПК43+08

$x, \text{м}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85	90.9
$h_x, \text{м}$	11.80	10.06	9.11	8.12	7.08	5.98	4.81	3.56	2.19	1.46	0.0
$\downarrow_x, \text{м}$	64.00	62.26	61.31	60.32	59.28	58.18	57.01	55.76	54.39	53.66	52.20

За даними табл. 2.2 будуюмо криву депресії в тілі греблі на ПК43+08 (рис. 2.4).

Поперечний переріз руслової земляної греблі на ПК43+08

М 1:500



Умовні позначення:




-  ШП-120 - Опуклий пізометр (шахтний)
-  - положення кривої депресії за даними пізометрів
-  - розрахункова положення кривої депресії

Рисунок 2.4 – Поперечний переріз руслової земляної греблі

2.3 Розрахунок відкритого каналу при рівномірному русі

Метою гідравлічних розрахунків каналів при рівномірному русі є визначення розмірів його поперечного перерізу та похилу дна, котрі будуть забезпечувати стійкість русла проти розмиву та замулення.

При будівництві каналів найбільш часто будують канали з трапецеїдальною формою поперечного перерізу (рис. 2.5). Однією з основних задач при розрахунку каналів на рівномірний рух є визначення нормальної глибини потоку. У цій задачі звичайно відомі форма й розміри поперечного перерізу, поздовжній похил дна i , характеристика поверхні дна і стінок русла (i та, відповідно, коефіцієнт шорсткості n), розрахункова витрата Q .

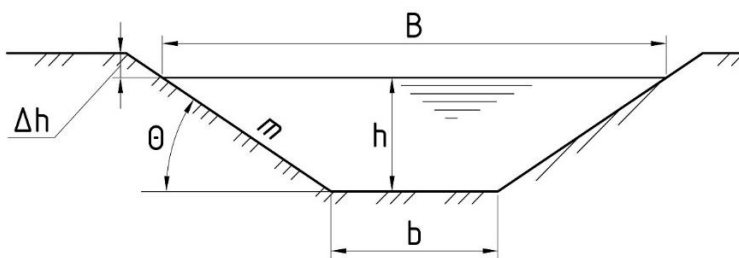


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема для гідравлічного розрахунку каналу

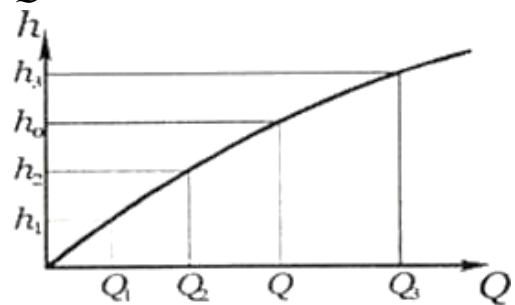


Рисунок 2.6 – Графік $Q = f(h)$

Визначаючи нормальну глибину для русел довільної форми поперечного перерізу, можна скористатися способом підбору, за якого задають глибини h_1, h_2, h_3, \dots , потім обчислюють відповідні значення площ живого перерізу ω , змочених периметрів χ , гідравлічних радіусів R , та витрат Q . Знайдені значення витрат порівнюють із заданою витратою. Якщо $Q_n = Q_0$, то $h_n = h_0$. Середня швидкість у перерізі становить $V = Q/\omega$. Підбір можна спростити побудувавши графік залежності $Q = f(h)$ за кількома довільними точками (рис. 2.6). За графіком знаходять глибину h_0 , що відповідає заданому значенню витрати Q . Залежністю $Q = f(h)$, яку називають кривою витрат, зручно користуватися для визначення глибин, що відповідають різним витратам у руслі.

2.3.1 Побудова кривої витрат для відкритого каналу

Розрахунок каналу при рівномірному русі виконуємо за формулою Шезі (2.1)

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}$$

де i – похил дна каналу; ω – площа живого перерізу потоку в каналі, m^2 , яка для трапецеїдальної форми каналу дорівнює

$$\omega = (b + mh) \cdot h \quad (2.15)$$

m – коефіцієнт закладення укосів каналу; h – глибина води в каналі, m ; b – ширина дна каналу, m .

C – коефіцієнт Шезі, $m^{0.5}/c$, обчислюємо за формулою М. М. Павловського

$$C = \frac{1}{n} + (27,5 - 300 \cdot n) \cdot \lg R, \quad (2.16)$$

де n – коефіцієнт шорсткості русла каналу;

R – гідравлічний радіус, m , який дорівнює

$$R = \omega / \chi, \quad (2.17)$$

де χ – змочений периметр каналу, m

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad (2.18)$$

Середня швидкість руху потоку в каналі визначаємо за формулою

$$V = Q / \omega. \quad (2.19)$$

Приклад розрахунку

Побудувати криву витрат та визначити нормальну глибину потоку в каналі трапецієвидного перерізу при рівномірному русі за наступних вихідних умов: ширина каналу по дну $b = 9,0m$, закладання укосів каналу $m = 1,5$, похил дна каналу $i = 0,00015$, розрахункова витрата $Q = 35 m^3/c$.

Маючи значення ширини дна каналу b робимо уточнення нормальної глибини води в каналі. Для цього будемо графік $h = f_1(Q)$. Для побудови графіка задаємося глибинами води в каналі $h = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4m$ та за формулами (2.1), (2.15)-(2.19) обчислюємо значення параметрів ω, χ, R, C, Q, V . Для каналів виконаних у земляному руслі приймаємо коефіцієнт шорсткості $n = 0,02$.

$$h_1 = 0,5 m;$$

$$\omega_1 = (9,0 + 1,5 \cdot 1) \cdot 1 = 4,88 m^2;$$

$$\chi_1 = 9,0 + 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{1 + 1,5^2} = 10,80 m;$$

$$R_1 = \frac{4,88}{10,80} = 0,45 m;$$

$$C_1 = \frac{1}{0,02} + (27,5 - 300 \cdot 0,02) \cdot \lg 0,45 = 43,79 m^{0.5}/c;$$

$$Q_1 = 4,88 \cdot 43,79 \sqrt{0,45 \cdot 0,00015} = 1,64 m^3/c;$$

$$V_1 = \frac{1,64}{4,88} = 0,34 m/c.$$

$$\omega = (b + mh) \cdot h$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{\omega}{\chi}$$

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

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}$$

$$V = \frac{Q}{\omega}$$

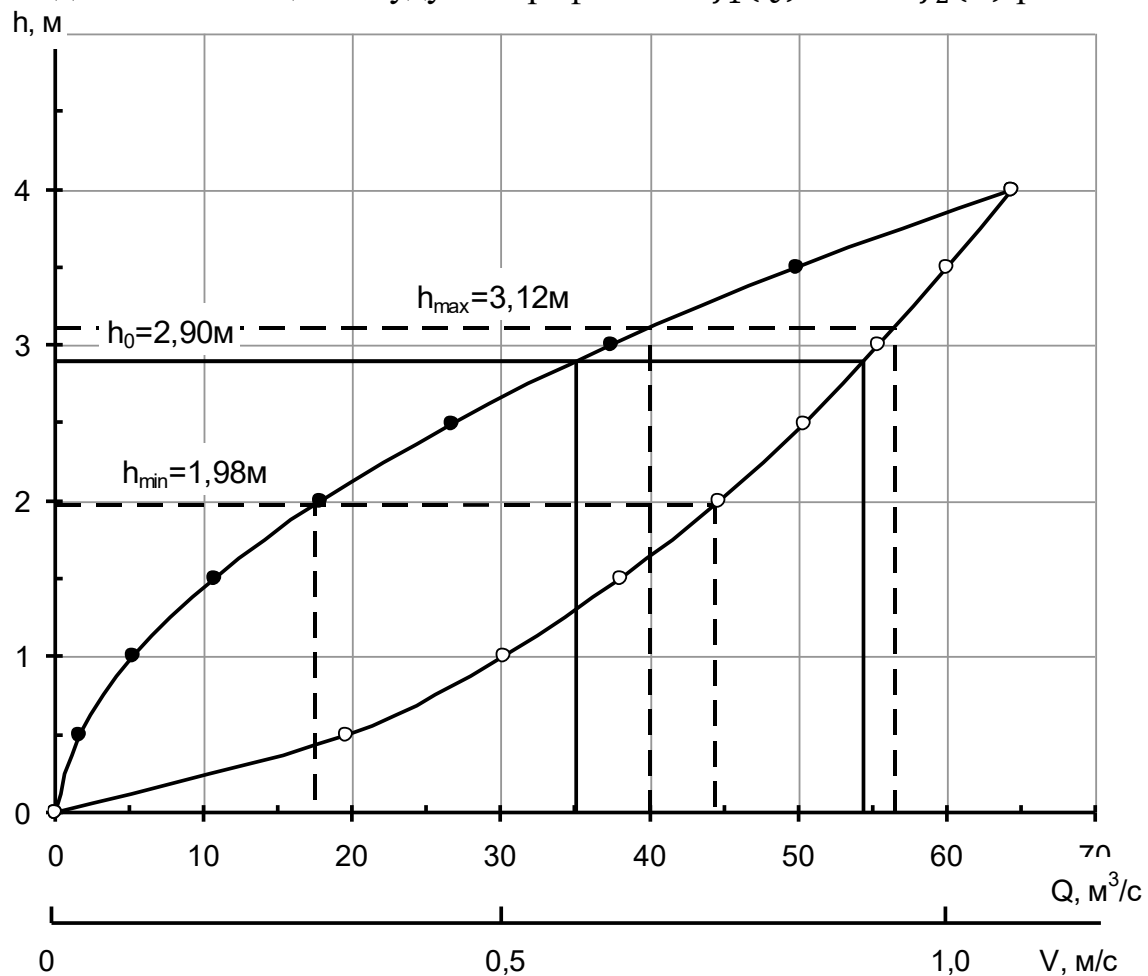
Результати обчислень зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

Таблиця обчислень параметрів каналу ω, χ, R, C, Q, V

$h, м$	$\omega, м^2$	$\chi, м$	$R, м$	$C, м^{0,5}/с$	$Q, м^3/с$	$V, м/с$
0,5	4,88	10,80	0,45	43,79	1,64	0,34
1,0	10,50	12,61	0,83	48,50	5,30	0,50
1,5	16,88	14,41	1,17	51,33	10,69	0,63
2,0	24,00	16,21	1,48	53,38	17,77	0,74
2,5	31,88	18,01	1,77	54,99	26,58	0,83
3,0	40,50	19,82	2,04	56,33	37,18	0,92
3,5	49,88	21,62	2,31	57,47	49,64	1,00
4,0	60,00	23,42	2,56	58,49	64,04	1,07

За даними таблиці 2.3 будемо графіки $h = f_1(Q)$ та $h = f_2(V)$ рис. 2.7.

Рисунок 2.7 – Графіки функцій $Q = f_1(h), V = f_2(h)$

З допомогою графіка $Q = f_1(h)$ уточнюємо глибину рівномірного руху h_0 при розрахунковій витраті $Q = 35 м^3/с$.

$h_0 = 2,90 м$ та середня швидкість потоку $V_0 = 0,90 м/с$.

2.3.2 Максимальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі

Умова нерозмиву каналу є не допущення перевищення максимальних допустимих швидкостей

$$V_{max} < V_{доп.р}, \quad (2.20)$$

де V_{max} – максимальна швидкість в каналі, м/с;

$V_{доп.р}$ – розрахункова нерозмивна швидкість, м/с.

Допустима розрахункова нерозмиваюча швидкість рівна

$$V_{доп.р} = V_{доп.н} \sqrt{\frac{\rho_2 - 1000}{1650}} \sqrt{K_c}, \quad (2.21)$$

$V_{доп.н}$ – нормативне значення нерозмиваючої швидкості, м/с, (табл. 2.4);

ρ_2 – щільність часток ґрунту ложа каналу;

K_c – коефіцієнт, який враховує умови роботи каналу (табл. 2.5).

Таблиця 2.4

Максимальні допустимі швидкості для земляних і укріплених каналів

Характеристика стінок і дна каналу	$V_{доп.}$, м/с
Пил, мул, рослинна земля	0,15...0,45
Пісок дрібний	0,2...0,6
Пісок крупний	0,5...0,9
Гравій	0,65...1,30
Суглинок, глина	0,35...2,0
Конгломерат, сланці, пухкий і шаруватий вапняки	2,0...4,5
Граніти, базальти, діабазы	15...20
Кам'яна кладка	4...10
Поодинокі мостіння	2,3...4,5
Подвійне мостіння	2,8...4,7
Бетонне облицювання	9...25

Коефіцієнт умов роботи каналу

Грунт русла каналу	Коефіцієнт умов роботи K_c для каналів у зв'язних і незв'язних ґрунтах		
	для магістральних каналів та їх відгалужень	для розподільників високих порядків	для розподільників низьких порядків
<i>Пісок:</i>			
дрібний та середньої крупності	1,3	1,4	1,5
крупний і гравелистий	1,5	1,6	1,7
<i>Гравій:</i>			
дрібний	1,5	1,6	1,7
середній	1,4	1,5	1,6
крупний	1,2	1,3	1,4
<i>Галька</i>	1,1	1,2	1,3
Глинисті ґрунти	1,30	1,40	1,60

Приклад розрахунку

Перевірити канал на розмив при наступних умовах: параметри каналу взяти з попереднього прикладу, матеріал ложа каналу – суглинок, щільність часток ґрунту ложа каналу $\rho_2 = 2820 \text{ кг/м}^3$.

Максимальна швидкість потоку в каналі буде відповідати перевірочній витраті, що більша за розрахункову на 20 %.

$$Q_{max} = 1,2Q = 1,2 \cdot 35,0 = 42,0 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тоді максимальну глибину h_{max} визначимо з графіка $Q = f_1(h)$ (рис. 2.7)

$$h_{max} = 3,12 \text{ м}$$

Тоді максимальну швидкість потоку в каналі знайдемо з графіку $V = f_2(h)$ (рис. 2.7)

$$V_{max} = 0,94 \text{ м/с}.$$

Обчислюємо допустиму нерозмиваючу швидкість за формулою (2.21)

$$V_{доп.р.} = V_{доп.} \sqrt{\frac{\rho_2 - 1000}{1650}} \sqrt{K_c}$$

K_c коефіцієнт, який враховує умови роботи каналу, визначаємо за табл. 2.5, як для магістрального каналу влаштованого у глинистих ґрунтах: $K_c = 1,3$;

$$V_{доп.р.} = 0,90 \sqrt{\frac{2820 - 1000}{1650}} \sqrt{1,3} = 1,07 \text{ м/с}.$$

Оскільки $V_{max} = 0,94 \text{ м/с} < V_{дон.р} = 1,07 \text{ м/с}$, то канал не розмивається.

2.3.3 Мінімальні експлуатаційні швидкості потоку в каналі

Умова незамулення каналу є недопущення мінімальних швидкостей потоку менших за незамулюючу

$$V_{min} > V_{н.з.}, \quad (2.22),$$

V_{min} – мінімальна швидкість в каналі, м/с ; $V_{н.з.}$ – гранична незамулююча швидкість, м/с , котру обчислюємо за формулою

$$V_{нз} = \left(\frac{\rho W_0}{0,022 \sqrt{R_{min} i}} \sqrt{\bar{W}} \right)^{2/3}, \quad (2.23)$$

де ρ – мутність потоку, кг/м^3 ; W_0 – умовна гідравлічна крупніють, величина якої дорівнює: $W_0 = \bar{W}$, якщо $\bar{W} > 0,002$ і $W_0 = 0,002 \text{ м/с}$, коли $0,0004 < \bar{W} < 0,002$; \bar{W} – середньозважена гідравлічна крупніють напосів у воді

$$\bar{W} = \frac{\sum W_i P_i}{\sum P_i} = \frac{\sum W_i P_i}{100}, \quad (2.24)$$

де P_i – процентний вміст кожної фракції наносів; \bar{W}_i – середньозважена гідравлічна крупніють i -ої фракцій наносів (завислих у воді частинок), визначається як

$$W_i = \frac{W_n + W_{n+1} + \sqrt{W_n W_{n+1}}}{3}, \quad (2.25)$$

де W_n, W_{n+1} – гідравлічні крупності, які відповідають частинкам наносів з діаметрами d_n і d_{n+1} . Для фракцій наносів з діаметрами $d = 0,01 \dots 0,5 \text{ мм}$ гідравлічна крупніють наведена в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Таблиця значень гідравлічної крупності

$d, \text{мм}$	0,5	0,25	0,1	0,05	0,02	0,01
$W, \text{мм/с}$	53	27	8	2,9	0,6	0,15
$W_i, \text{мм/с}$	39,28	16,57	5,23	1,61	0,35	

Приклад розрахунку

Перевірити канал на замулення при наступних умовах: параметри каналу взяти з попереднього прикладу; мутність потоку $\rho = 0,80 \text{ кг/м}^3$; механічний склад наносів дано в таблиці

Діаметр фракцій d , мм	Вміст, %
0,5-0,25	5
0,25-,01	10
0,1-0,05	25
0,05-0,02	25
0,02-0,01	35

Мінімальну швидкості потоку в каналі знайдемо, прийнявши за мінімальну витрату половину розрахункової $Q_{min} = \frac{1}{2}Q = 17,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Тоді мінімальну глибину h_{min} визначимо з графіка $Q = f_1(h)$ (рис. 2.7)

$$h_{min} = f(Q_{min} = 17,50 \text{ м}^3/\text{с}) = 1,98 \text{ м}.$$

Тоді мінімальна швидкість потоку в каналі знайдемо з графіку $V = f_2(h)$ (рис. 2.7)

$$V_{min} = 0,74 \text{ м/с}.$$

Використовуючи табл. 2.6, вихідну таблицю механічного складу наносів потоку та формулу (2.24) визначимо середньозважену гідравлічну крупніють напосів:

$$\bar{W} = \frac{[39,28 \cdot 0,05 + 16,57 \cdot 0,1 + 5,23 \cdot 0,25 + 1,61 \cdot 0,25 + 0,35 \cdot 0,35]}{0,05 + 0,10 + 0,25 + 0,25 + 0,35} = 0,0055 \text{ м/с}$$

$$\bar{W} > 0,002 \text{ м/с} \Rightarrow W_0 = 0,0055 \text{ м/с}.$$

R_{min} – гідравлічний радіус при найменшій глибині потоку h_{min} , м, який визначимо за формулою:

$$R_{min} = \frac{\omega_{min}}{\chi_{min}}, \quad \chi_{min} = b + 2h_{min} \sqrt{1 + m^2}$$

$$\chi_{min} = 9 + 2 \cdot 1,98 \sqrt{1 + 1,5^2} = 16,15 \text{ м};$$

$$R_{min} = \frac{23,74}{16,15} = 1,47 \text{ (м)};$$

$$V_{нз} = \left(\frac{0,80 \cdot 0,0055}{0,022} \sqrt{\frac{0,0055}{1,47 \cdot 0,00013}} \right)^{2/3} = 1,04 \text{ м/с}$$

$V_{нз} > V_{min}$, отже, канал замулюється. Для запобігання замулення каналу потрібно збільшити похил дна каналу або влаштувати на початку каналу спеціальний відстійник, в якому будуть осідати крупні частки, які мають місце в загальній мутності води.

2.4 Перетворення повені у водосховищі

У зв'язку з перетворенням повені у водосховищі (за рахунок його накопичувальної ємності) величина розрахункової витрати $Q_{розр}$, яка служить для визначення розмірів водоскидного отвору, може бути значно менше максимальної витрати води в річці.

Для спрощення розглянемо випадок поверхневого відкритого автоматичного водозливу без затворів при пропуску дощової повені, при цьому відмітка гребеня водозливу знаходиться на відмітці НПР

$$\nabla ГВ = НПР \quad (2.26)$$

Оскільки важко передбачити час проходження дощової повені, часто вважається, що на початку цієї повені водосховище повністю заповнене, а отже, водний горизонт в ньому знаходиться на рівні гребеня водозливу, а в момент початку повені витрата на водозливі $Q_в$ рівна нулю: $Q_в = 0$.

На рис. 2.8, а наведено поздовжній розріз водосховища.

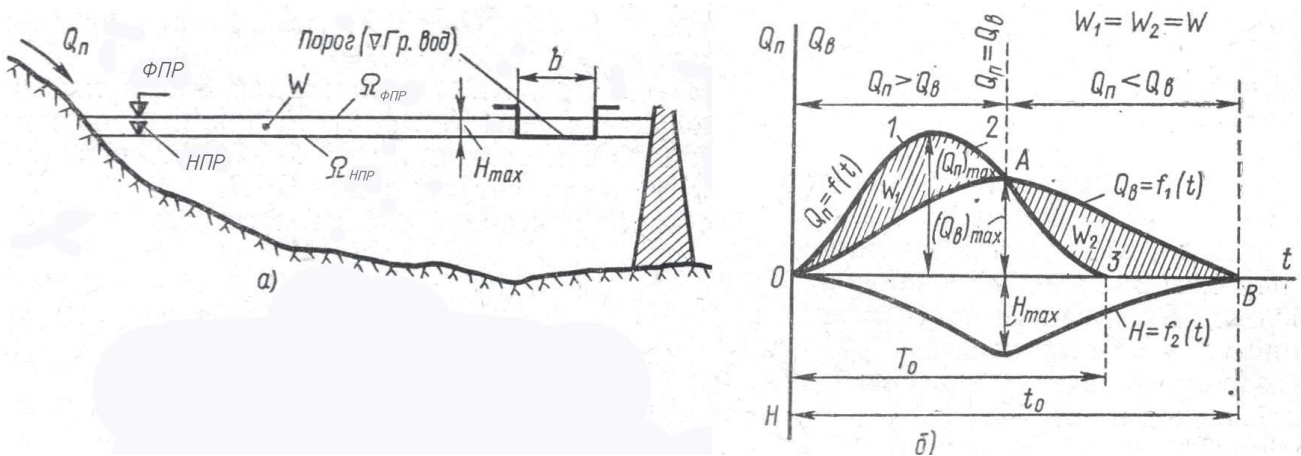


Рисунок 2.8 – Поздовжній розріз (схема) водосховища (а) та трансформація повені у водосховищі (б)

Об'єм водосховища, між рівнями ФПР та НПР, можна назвати *акумулюючою*, або *резервною призмою*. Величина цього об'єму

$$W = \frac{\Omega_{ФПР} + \Omega_{НПР}}{2} H_{max} \quad (2.27)$$

де $\Omega_{ФПР}$, $\Omega_{НПР}$ – площі дзеркала водосховища, відповідно при ФПР та НПР; H_{max} – максимальний напір на гребені водозливу

$$H_{max} = \nabla ФПР - \nabla НПР \quad (2.28)$$

На рис. 2.8 б, наведено графік дощової повені у вигляді кривої $Q_n = f(t)$. Як видно, витрата повені Q_n , що надходить у водосховище, спочатку збільшується до максимального значення $(Q_n)_{max}$, а потім зменшується до нуля.

У міру надходження води у водосховище рівень води в ньому спочатку піднімається все вище і вище над НПР (вище *початкового* рівня води); при цьому

водосховище наповнюється і напір на водозливі H поступово зростає, а отже, і зростає витрата на водозливі Q_B (крива $Q_B = f_1(t)$). Зміна напору H на водозливі (в часі) наведено в нижній частині графіка кривою $H = f_2(t)$.

Протягом першого періоду роботи водозливу

$$Q_{\Pi} > Q_B,$$

а тому, в цей період, як зазначалось, водосховище буде наповнюватись.

У якийсь момент часу, коли напір H і витрата Q_B досягнуть максимуму, отримаємо рівність

$$Q_{\Pi} = Q_B.$$

Після цього моменту почнеться другий період роботи водозливу, під час якого

$$Q_{\Pi} < Q_B,$$

при цьому, водосховище в цей період буде спорожнюватись.

У момент, що відповідає точці 3 (рис. 2.8, б), повинь закінчиться, але водозлив продовжить роботу (до моменту часу, який відповідає точці В).

Позначимо: T_0 – тривалість повені, t_0 – тривалість роботи водозливу. Як видно, $t_0 > T_0$.

Зі сказаного видно, що в загальному випадку $Q_{\Pi} \neq Q_B$, оскільки Q_B повністю визначається напором H на водозливі, а не гідрологічними умовами. Не зважаючи на розмір витрати, яка надходить у водосховище в початковий момент часу, величина витрати Q_B в цей момент часу має дорівнювати нулю, так як при $t = 0$ величина напору $H = 0$.

Як видно (рис. 2.8, б), за рахунок накопичення води у водосховищі отримуємо *трансформацію повені*: крива наповнення водосховища має вигляд лінії 0-1-2-3, тоді як крива спорожнення водосховища набуває вигляду лінії ОАВ.

Внаслідок трансформації повені розрахункова витрата для водозливу складе

$$Q_{\text{розр}} = (Q_B)_{\text{max}} < (Q_{\Pi})_{\text{max}},$$

тому водозлив не потрібно розраховувати на максимальну повеневу витрату $(Q_{\Pi})_{\text{max}}$, тобто на максимальну витрату водотоку.

При наявності великої акумулюючої призми, коли її об'єм більше об'єму води, що надходить у водосховище під час повені, водоскидні споруди для проходження цієї повені можна взагалі не влаштовувати.

Завдання розрахунку розмірів водозливних отворів з урахуванням накопичувальної ємності іноді ставиться наступним чином: наведено графік повені, а також відмітка ФПР; потрібно знайти необхідну для цієї відмітки ФПР ширину водозливу.

2.4.1 Розрахунок розмірів автоматичного водозливу з врахуванням акумулюючої здатності водосховища

Задача розрахунку вхідного отвору часто ставиться такою: дається графік проходження повені; потрібно задавшись рівнем ФПР, знайти для цієї відмітки ФПР необхідну ширину водозливу b . У випадку автоматичної роботи водозливу (при відсутності затворів) рівень води у водосховищі на початок повені приймаємо рівним НПР.

Для спрощення розрахунків гідрограф повені (рис. 2.8. б) можна апроксимувати трапецією 0-1-2-3, а графік роботи водозливу трикутником OAB (рис. 2.9).

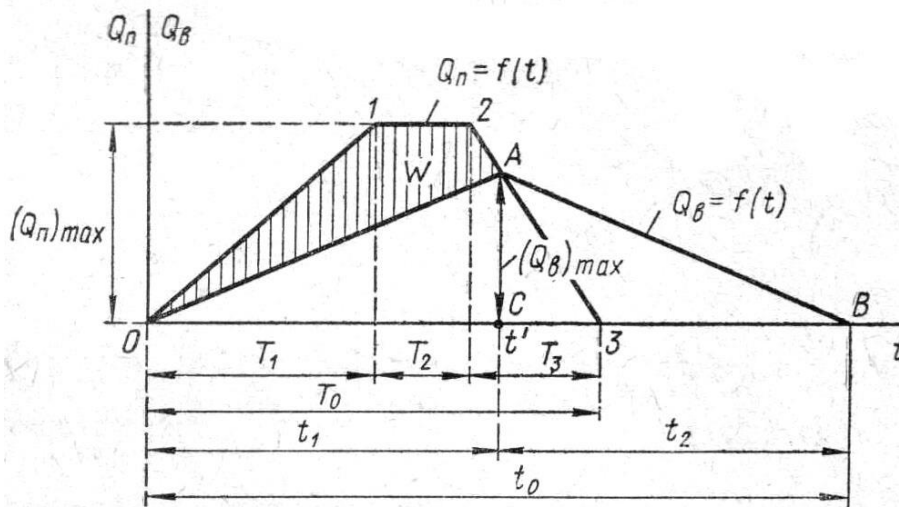


Рисунок 2.9 – Поздовжній розріз (схема) водосховища (а) та трансформація повені у водосховищі (б)

На рис. 2.9 позначено: T_1 – період наростання повені; T_2 – період найбільшого стоку; T_3 – період спаду повені; $T_0 = T_1 + T_2 + T_3$ – тривалість повені; t_1 – період наповнення акумулюючої призми водосховища; t_2 – період її спорожнення; $t_0 = t_1 + t_2$ – період роботи водозливу.

У випадку, коли період T_2 незначний, отримуємо графік повені теж у вигляді трикутника.

Площа трапеції 0-1-2-3 повинна дорівнювати площі трикутника OAB , так як кожна з цих ділянок повинна виражати об'єм води, що надходить у водойму під час повені

$$\sum(Q_n \Delta t) = \frac{T_0 + T_2}{2} (Q_n)_{max} \quad (2.29)$$

За проміжок часу t_1 у водосховище надійде об'єм води, виражений площею $\omega_{0-1-2-A-C}$ (рис. 2.9); за цей самий період з водосховища витече об'єм води, виражений площею ω_{OAC} . Отже, до моменту t' початку спорожнення водосховища в ньому буде акумульовано об'єм води, що виражений площею

$$\omega_{0-1-2-A-C-0} - \omega_{OAC} = \omega_{0-1-2-A-0} \quad (2.30)$$

де $\omega_{0-1-2-A-0}$ – площа заштрихована на рисунку. Ця площа буде виражена

об'ємом W необхідної призми акумулювання.

$$\omega_{0-1-2-A-0} = W$$

Також, її можна представити у наступному вигляді

$$W = \sum(Q_{п}\Delta t) - \frac{(Q_{в})_{max}}{2} T_0 \quad (2.31)$$

звідки

$$(Q_{в})_{max} = 2 \frac{\sum(Q_{п}\Delta t) - W}{T_0} \quad (2.32)$$

Використовуючи отримані формули розрахунок ведуть в наступному порядку:

- маючи ФПР знаходимо за формулою (2.28) величину H_{max} та акумулюючий об'єм водосховища W за (2.27);
- маючи графік проходження повені (приймаємо у вигляді трапеції), за залежністю (2.29) визначаємо $\sum(Q_{п}\Delta t)$;
- за формулою (2.32) визначаємо значення $(Q_{в})_{max}$;
- маючи значення $(Q_{в})_{max}$ та H_{max} , за звичайною формулою розрахунку водозливу (приймавши відповідний коефіцієнт його витрати) визначаємо ширину водопропускного отвору b .

Очевидно, приймаючи різні значення відмітки ФПР, будемо отримувати різні величини H_{max} та W і, відповідно, різні ширини водопропускного отвору b .

2.4.2 Розрахунок розмірів водозливу із затворами з врахуванням акумуляції повені у водосховищі

Задаємось відміткою гребеня водозливу (рис. 2.10), і для цієї відмітки й будемо вирішувати завдання.

Таким чином, це завдання (про знаходження ширини водозливу b) вирішують при заданих ФПР та відмітці $\nabla_{Гр}$; при цьому, відмітки ФПР та $\nabla_{Гр}$ остаточно визначаються на основі техніко-економічних розрахунків.

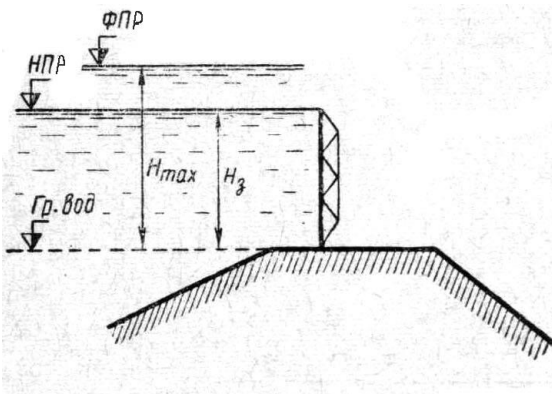


Рисунок 2.10 – До розрахунку водозливу з затвором (із врахуванням акумулюючої ємності водосховища)

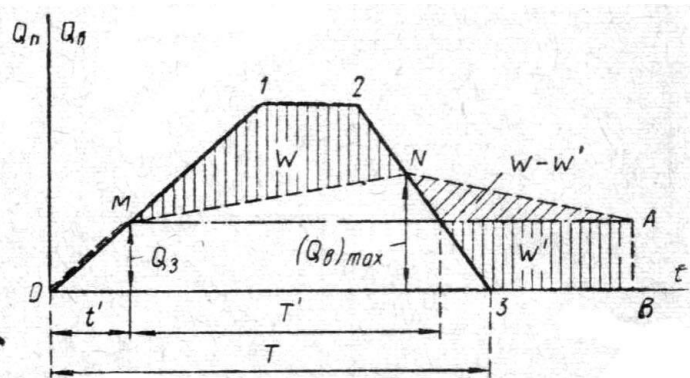


Рисунок 2.11 – Графік проходження повені 0-1-2-3 та графік роботи водозливу OMNAB (при наявності затвору)

Графік проходження повені, також, приймаємо у вигляді трапеції $0-1-2-3$ (рис. 2.11).

Позначимо через Q_3 витрату водозливу при повністю відкритих затворах та при напорі на водозливі

$$H = H_3 \quad (2.33)$$

де H_3 – висота затвору (рис. 2.10).

Вважаємо, що на початку повені затвор відкриваються таким чином, що крива графіка затоплення з плином часу t' (рис. 2.11) збігається з графіком роботи водозливу (відрізок OM графіків). Згідно з цим припущенням, графік роботи водозливу мають вигляд $OMNAB$.

Легко показати, що значення $(Q_B)_{max}$ (необхідне для визначення ширини b) в цьому випадку можна визначити за наведеними вище формулами (2.29) і (2.32), якщо їх підставити:

- замість Q_{II} величину $(Q_{II} - Q_3)$;
- замість $(Q_{II})_{max}$ величину $((Q_{II})_{max} - Q_3)$;
- замість $(Q_B)_{max}$ величину $((Q_B)_{max} - Q_3)$;
- замість T_0 величину T' (рис. 2.11).

Графік на рис. 2.11 у верхній своїй частині (над лінією MA) схожий (по відношенню до геометричної фігури) з графіками на рис. 2.9.

Однак, використовуючи формули (2.32) і (2.29), ми стикаємося з наступною складністю. Не знаючи ширину водозливу b , ми не можемо знайти Q_3 , який нам потрібно обчислити за формулою (2.32) і (2.29). Тому, дану задачу доводиться вирішувати методом підбору.

В першому наближенні можна припустити, що витрати через водослив при НПР і при ФПР приблизно однакові, тобто можна припустити, що при повному відкритті затворів витрата Q_B практично не змінюється при підвищенні рівня води у водоймі (вище НПР). Беручи це припущення, лінія MN (рис. 2.11) можна вважати горизонтальною.

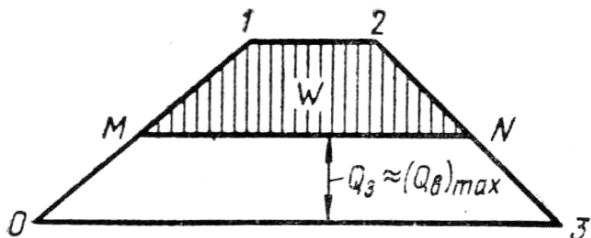


Рисунок 2.12 – Графік проходження повені $0-1-2-3$ та приблизний графік роботи водозливу $0-M-N-3$ (при наявності затвору)

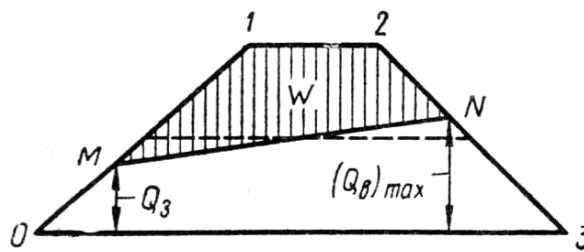


Рисунок 2.13 – Графік проходження повені $0-1-2-3$ та уточнений графік роботи водозливу $0-M-N-3$ (при наявності затвору)

У цьому випадку завдання вирішується наступним чином:

- за формулами (2.27) і (2.28) визначаємо H_{\max} та W ;
- маючи графік затоплення (у вигляді трапеції, рис. 2.12), проводимо на ньому горизонтальну лінію MN так, щоб вона відсікала верхню частину графіка (заштриховану на рисунку), що має площу W ; очевидно, що величина витрати $Q_3 \approx (Q_V)_{\max}$ буде визначатися розмірами, наведеними на рис. 2.12;
- знаючи $(Q_V)_{\max}$ та H_{\max} за формулою витрати водозливу визначаємо b .

Якщо необхідно ви хочете уточнити розрахунок, діємо наступним чином:

- задаємось величиною Q_3 , дещо меншою отриманої вище, та знаходимо за формулами (2.32) і (2.29) (з урахуванням прийнятого значення Q_3) витрату $(Q_V)_{\max}$;
- перевіряємо співвідношення (рис. 2.10 і 2.13):

$$\frac{(Q_V)_{\max}}{Q_3} = \left(\frac{H_{\max}}{H_3} \right)^{3/2} \quad (2.34)$$

якщо це співвідношення не витримується, то встановлюємо нове значення Q_3 і т.д. (поки відношення (2.34) не буде задовольнятися);

- за знайденим значенням $(Q_V)_{\max}$, що задовольняє рівняння (2.34), знаходимо b (використовуючи формулу витрати водозливу).

Рекомендована література

1. 01-04-09S Корнійчук В. І. (2022) Силабус навчальної дисципліни «Експлуатація гідротехнічних споруд» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Гідротехнічне будівництво», спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології». URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/24298/>
2. Гідротехнічні споруди : навчальний посібник / М. Хлапук, Л. Шинкарук, А. Дем'янюк, О. Дмитрієва: Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. Рівне : Вид-во Нац. ун-ту вод. госп-ва та природокористування, 2013. 241 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1758/>
3. Hydraulic Structures - Sheng-Hong Chen. Heidelberg ; New York : Springer, 2015. 1048 p.
4. Кавешников Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений: учебное пособие для вузов. М. : Агропромиздат, 1989. 272 с.
5. Гідротехнічні споруди : підручник для вузів / Дмитрієв А. Ф., Хлапук М. М., Шумінський В. Д. та ін.; За ред. Дмитрієва А. Ф. Рівне : РДТУ, 1999. 328 с.

6. Річкові укріпні споруди : посібник / Герасимчук В. О., Климпуш М. Д., Круцик М. Д. та ін. Коломия : Вік, 2000. 142 с.
7. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. К. : Мінрегіонбуд України, 2010. 39 с.
8. Fundamentals of Fluid Mechanics / В. R.Munson, Т. Н. Okiishi, W. W. Huebsch, А. Р. Rothmayer. NJ: John Wiley & Sons, 2013. 796 p.
9. Електроенергетика України. К. : Міненерго України, 1998. 34 с.
10. Технічне обстеження та нагляд за безпечною експлуатацією будівель та інженерних споруд. Київ : Відлуння, 2007.

Інформаційні ресурси

1. Кабінет Міністрів України. URL: <http://www.kmu.gov.ua/>.
2. Рівненська державна обласна бібліотека. URL: <http://www.libr.rv.ua/>.
3. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
4. Цифровий репозиторій НУВГП. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/>