

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

**ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ.
РОЗРАХУНКИ ҐРУНТОВОЇ ГРЕБЛІ**

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 192 «Водопостачання та водовідведення»
освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія»

Київ 2024

УДК 626.627 075.8

Г46

Укладачі: С. В. Величко, канд. техн. наук, доцент;

О. В. Дупляк, канд. техн. наук, доцент

Рецензент Т. В. Аргатенко, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В. П. Хоружий, д-р техн. наук,
професор.

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання та
водовідведення, протокол № 10 від 21 травня 2024 року.*

В авторській редакції.

Гідротехнічні споруди. Розрахунки ґрунтової греблі

Г46 [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання розрахунково-
графічної роботи / уклад.: С. В. Величко, О. В. Дупляк. – Київ :
КНУБА, 2024. – 24 с.

Містить загальні положення та послідовність розрахунку
профіля ґрунтової греблі, фільтраційний розрахунок, список
літератури. Наведено основні відомості про методику проєктування
земляних гребель з місцевих будівельних матеріалів.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 192 «Водопостачання та водовідведення»
ОПП «Будівництво та цивільна інженерія»

© КНУБА, 2024

Загальні положення

Метою вивчення освітньої компоненти є здобуття знань про ґрунтові гідротехнічні споруди, їх призначення, методику розрахунку. Для послідувочої успішної роботи з урахуванням специфіки гідротехнічного будівництва студенти мають набути знання в даній галузі і систематизувати відомості про розрахунки гідротехнічних споруд, отримані під час вивчення суміжних дисциплін. Виконання розрахунково-графічної роботи дозволить студентам краще засвоїти відомості, отримані в лекційному курсі.

Розрахунково-графічна робота «Розрахунки ґрунтової греблі» складається з пояснювальної записки з розрахунками та розрахунковими схемами, виконаними в форматі А4.

Розрахунково-графічна робота складається з таких розділів:

1. Проектування греблі з ґрунтових матеріалів.
 - 1.1. Визначення відмітки гребня греблі.
 - 1.2. Проектування поперечного профілю греблі, гребінь греблі.
 - 1.3. Кріплення верхового та низового укосів.
 - 1.4. Дренажні пристрої греблі.
 - 1.5. Фільтраційний розрахунок греблі.
2. Література.

Графічні матеріали оформлюються в записці на форматі А4:

1. Поперечний переріз греблі з нанесеною на неї кривою фільтрації в тілі греблі.

1. ПРОЄКТУВАННЯ ГРЕБЛІ З ҐРУНТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Визначення відмітки гребня греблі

Перевищення гребня греблі над розрахунковим статичним рівнем води у водосховищі визначається для двох випадків:

- а) якщо нормальний підпірний рівень НПР:

$$\Gamma_{p\Gamma} = \text{НПР} + h_{s1}, \quad (1)$$

- б) якщо форсований підпірний рівень ФПР :

$$\Gamma_{p\Gamma} = \text{ФПР} + h_{s2}, \quad (2)$$

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run} + a, \quad (3)$$

де $\Gamma_{p\Gamma}$ – відмітка гребня греблі, м; НПР – відмітка нормального підпертого рівня, м; ФПР – відмітка форсованого підпертого рівня, м; h_{run} – висота накопчування хвилі 1 %-ї забезпеченості, м; Δh_{set} – висота вітрового нагону

води у верхньому б'єфі, м; a – сухий запас висоти греблі, вибирається більше значення 0,5 м чи $0,1h_{1\%}$ м; $h_{1\%}$ - висота хвилі 1 % забезпеченості, м.

Визначення параметрів вітрової хвилі 1 % забезпеченості виконується окремо для двох випадків за такою послідовністю:

Визначаємо безрозмірні величини:

$$\frac{gL}{V_W^2}, \quad (4)$$

$$\frac{gt}{V_W}, \quad (5)$$

де g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; t – безперервна тривалість дії вітру для водосховища приймаємо рівній 21600с; L - довжина розгону хвилі, м; V_W - розрахункова швидкість вітру, м/с .

За допомогою діаграми Додатку 1 за значеннями безрозмірних величин (4) та (5) по верхній кривій визначаємо значення $\frac{g\bar{h}}{V_W^2} = A$, $\frac{g\bar{T}}{V_W} = B$. Отримаємо по два значення величин (4) та (5). Обираємо по одному меншому значенню (4) та (5) та за цими меншими значеннями визначаємо середню висоту хвилі ($\bar{h}$):

$$\bar{h} = A \frac{V_W^2}{g}$$

та середній період хвилі ($\bar{T}$):

$$\bar{T} = B \frac{V_W}{g}.$$

Визначаємо висоту хвилі 1% забезпеченості:

$$h_{1\%} = k_i \bar{h}, \quad (6)$$

де k_i – коефіцієнт, який приймається згідно з рис. 1.

Середня довжина хвилі ($\bar{\lambda}$) визначається за формулою:

$$\bar{\lambda} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi}, \quad (7)$$

Висота накочування хвилі визначається за формулою:

$$h_{run} = k_r \cdot k_p \cdot k_{sp} \cdot k_{run} \cdot h_{1\%}, \quad (8)$$

де k_r , k_p – відповідно, коефіцієнти жорсткості і проникності кріплення укусу греблі, приймається за даними таблиці 1; k_{sp} – коефіцієнт, який береться залежно від закладання верхового укусу та швидкості вітру, таблиця 2; k_{run} – коефіцієнт, який визначається залежно від кута нахилу відкосу до обрію та від пологості хвилі за графіком на рис. 2.

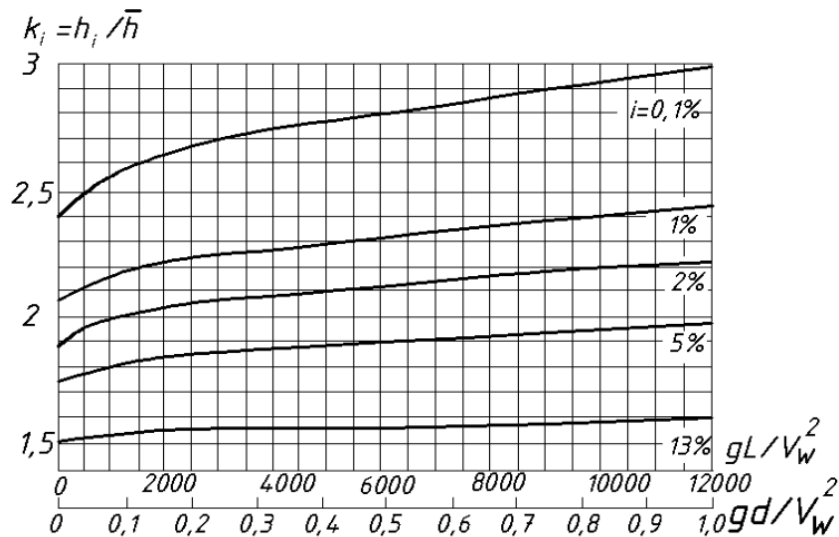


Рис. 1. Визначення коефіцієнту k_i [5]

Таблиця 1

Визначення коефіцієнтів шорсткості (k_r) і проникності (k_p)

Конструкція кріплення укосу	Відношення шорсткості $r/h_{1\%}$	k_r	k_p
Бетонні (залізобетонні) плити	-	1,0	0,9
Гравійно-галькове, кам'яне або бетонні блоки	<0,002	1,0	0,9
	0,005-0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7
	0,1	0,75	0,6
	>0,2	0,7	0,5

Таблиця 2

Визначення коефіцієнта k_{sp}

ctgφ		1...2	3...5	>5
V_w	≥20	1,4	1,5	1,6
	10	1,1	1,1	1,2
	≤5	1,0	0,8	0,6

Висота вітрового нагону визначається за формулою:

$$\Delta h_{set} = K_w \frac{V_w^2 L}{gH} \cos \alpha, \quad (9)$$

де H – розрахункова глибина води перед греблею, м; K_w – коефіцієнт, що визначається залежно від розрахункової швидкості вітру за табл. 3; α – кут атаки.

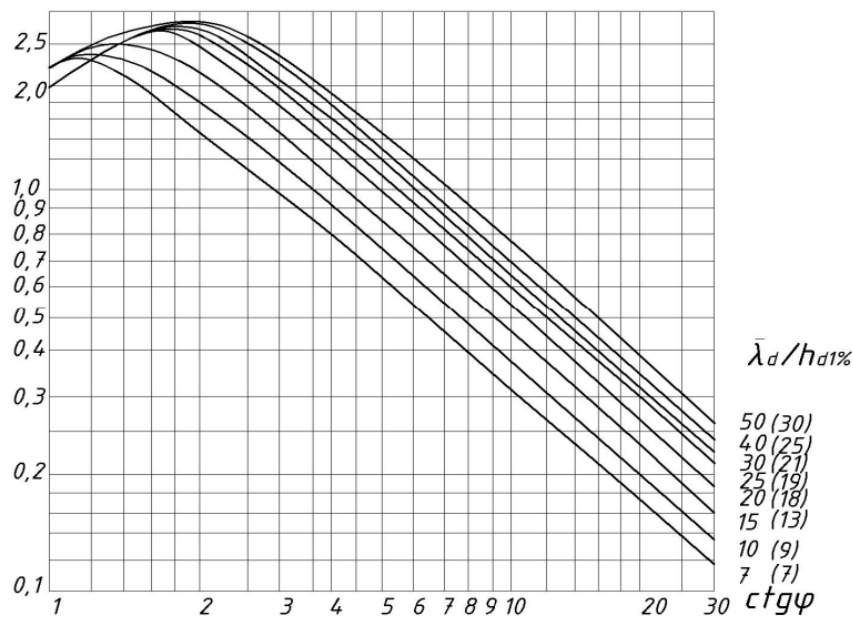


Рис. 2. Визначення коефіцієнту k_{run} [5]

Таблиця 3

Визначення коефіцієнту K_w

V_w	20	30	40	50
K_w	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$

Розрахунки висоти хвилі $h_{1\%}$, висота накочування h_{run} , висота вітрового нагону Δh_{set} визначається окремо для кожного розрахункового випадку за заданими значеннями швидкості вітру.

Розраховуємо відмітку гребня греблі за формулами (1) та (2) та приймаємо більше із отриманих значень.

1.2. Проектування поперечного профілю греблі, гребінь греблі

Ширину гребня греблі беруть залежно від умов виконання робіт і експлуатації, але не менше 4,5 м. При облаштуванні дорожнього проїзду по гребню його ширину визначають залежно від категорії автомобільної дороги за табл. 4. Покриття проїжджої частини дороги, що проходить по гребню (асфальтобетон, бетонні плити, кам'яна мостова, ущільнений

щебінь), виконують відповідно до категорії дороги. Його укладають на підготовку з піщаних, гравійних та щебенистих ґрунтів

Таблиця 4

Ширина проїжджої частини і ширина гребня

Категорія автодороги	проїжджа частина	обочина	розподільна смуга	ширина гребня
I	15,0	3,75	5,0	27,5
II	7,5	3,75	-	15,0
III	7,0	2,50	-	12,0
IV	6,0	2,00	-	10,0
V	4,5	1,75	-	8,0

По краях гребня передбачають огорожу у вигляді хвилезахистного парпету (з боку верхнього б'єфу) або огорожувальні пристрої обабіч дороги, що слугують орієнтирами для руху автотранспорту. Для забезпечення стоку атмосферної води гребінь виконують з поперечним нахилом в обидва боки від осі під кутом 2 – 4 %.

Похил укосів греблі слід назначати виходячи з умов стійкості. Для попереднього призначення коефіцієнтів закладання верхового та низового укосів греблі в роботі можна використовувати табл. 5.

Якщо висота греблі більше ніж 10 м, то на укосах гребель слід передбачати розташування берм: на верховому укосі – в кінці кріплення для створення необхідного упору; на низовому – по верху дренажу та через 8 – 10 м по висоті, починаючи з гребня. Закладання укосів на кожній наступній ділянці збільшується для верхового укосу на 0,5, а для низового – на 0,25. Берми, якщо по них немає проїзду, мають ширину 2 – 3 м з похилом 2 – 4 % у бік кювета.

Таблиця 5

Закладання укосів ґрунтових гребель

Укос	Висота греблі, м					
	<5		5...10		>15	
	Ґрунт укосу					
	Г	П	Г	П	Г	П
Верховий	2,0	2,5	2,25	2,75	2,5	3,0
Низовий	1,5	1,75	1,75	2,25	2,0	2,5

Г – глинистий ґрунт тіла греблі; П – піщаний.

Греблі з протифільтраційним пристроєм (ядро, екран). Товщина екрана (ядра) верхом береться з умови виконання робіт, але не менше ніж

0,8 м, а низом така, щоб градієнти напору фільтраційного потоку не перевищували допустимих значень, але не менше ніж $0,1(\text{ГрГ-Дно}) \geq 2,0$ м. Гребінь ґрунтового екрана повинен бути вище ФПР з урахуванням висоти накопчування вітрових хвиль h_{run} і вітрового нагону води Δh_{set} . Гребінь ядра повинен перевищувати ФПР з урахуванням вітрового нагону води Δh_{set} . Між ядром або екраном з ґрунтових матеріалів і тілом греблі влаштовують перехідні шари за типом зворотного фільтра. Екран слід захищати шаром крупнозернистого матеріалу, що укладається на зворотній фільтр. Товщина захисного шару не менше 1 м.

Сполучення греблі з основою виконується залежно від виду ґрунту в тілі греблі і основи. Якщо основою греблі є водоупор, то протифільтраційні елементи греблі безпосередньо спрягаються з ним так, щоб попередити можливість фільтрації води на контактні підшви з основою. Для цього влаштовується неглибокий зуб. У водонепроникний шар замок врізується на глибину не менше 0,75 м. Ширина зуба в основі становить 0,5 м. Коефіцієнт закладання укосів зуба $m=1,5 \dots 2,0$.

1.3. Кріплення верхового та низового укосів

Верховий укос ґрунтових гребель захищають спеціальними кріпленнями, розрахованими на дію хвиль, льоду, течій води, зміну рівня, атмосферних опадів, вітру і інших руйнуючих факторів. Для захисту верхового укосу пропонується використовувати кріплення кам'яним накидом або бетонними плитами на підготовці у вигляді зворотного фільтра, знизу кріплення спирається на упор, який захищає нижню частину кріплення від підмиву і забезпечує його стійкість.

Кріплення бетонними плитами

Товщина монолітної плити повинна бути такою, щоб була забезпечена її загальна стійкість проти спливання під дією фільтраційного тиску при швидкому зниженні рівня води у водосховищі [5]:

$$\delta_{\Pi} = 0,07\eta \cdot h_{1\%} \frac{\rho_0}{\rho_6 - \rho_0} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{b_{sl}}} \cdot \frac{\sqrt{m_h^2 + 1}}{m_h}, \quad (10)$$

де η – коефіцієнт запасу, $\eta=1$ для монолітних плит, $\eta=1,1$ для збірних плит; ρ_6 – щільність бетону, $\rho_6 = 2,3 \dots 2,4$ т/м³; ρ_0 – густина води, т/м³; λ – розрахункова довжина хвилі, м; m_h – коефіцієнт закладання укосу на ділянці кріплення; $h_{1\%}$ – висота хвилі 1 % забезпеченості, м.

Мінімальна конструктивна товщина плити 0,08 м.

Кріплення кам'яним накидом

Кам'яне кріплення верхового косу виконується у вигляді **кам'яного накиду** (див. дод. 3) переважно з несортованого каменю (гірська маса), оскільки сортування кам'яного матеріалу потребує значних трудовитрат та є технічно складним.

Проектуючи кріплення укосів з рваного каменю, масу окремого елемента, яка відповідає стану його граничної рівноваги, під час дії вітрових хвиль на укосах необхідно визначати за формулою:

$$m = \frac{3,16k_{fr}\rho_m h^3}{\left(\frac{\rho_m}{\rho}-1\right)^3 \cdot \sqrt{1+ctg^3\phi}} \sqrt{\frac{\lambda}{h}}, \quad (11)$$

де k_{fr} – коефіцієнт, для кам'яного накиду 0,025; ρ_m – щільність каменю, г/см³; h – висота хвилі 1 % забезпеченості, м; λ – середня довжина хвилі, м; $ctg\phi$ – закладання укосу.

Товщина кам'яного накиду береться з врахуванням можливості часткового винесення дрібного каміння під час дії хвиль і переміщення крупного каміння, ущільнення матеріалу кріплення, а також з досвіду експлуатації аналогічних кріплень, але не менше:

$$t_n \geq 3D. \quad (12)$$

Для визначення розміру розрахункового каменю рекомендується залежність:

$$D = \sqrt[3]{\frac{m}{0,524\rho_m}}. \quad (13)$$

Низовий укіс греблі з ґрунтових матеріалів для захисту від атмосферних впливів і руйнування землерийними тваринами найчастіше захищаються залуженням і дернуванням або покриваються шаром щебню чи гравію.

Зворотні фільтри під кріпленням укосів, що виконано кам'яним накидом, плитами з відкритими швами або з наскрізними отворами можуть складатися з одного чи двох шарів різнозернистого матеріалу або матеріалів з різними за крупністю частинками або зі штучних водопроникних матеріалів (скловолокно, мінеральна вата та ін.). Матеріал для зворотного фільтру, кількість шарів та їх товщину вибирають залежно від виду ґрунту укосу, наявності місцевих матеріалів. Зазвичай товщина призначається за умови виконання робіт, але не менше ніж 0,2 м.

1.4. Дренажні пристрої греблі

Дренажні пристрої проєктуються для:

- а) організованого відводу води, що профільтрувалася крізь тіло греблі і основу в нижній б'єф;
- б) попередження виходу фільтраційного потоку на низовий укіс та зону, що може промерзати;
- в) економічно обґрунтованого пониження депресійної поверхні для підвищення стійкості низового укосу (внутрішній дренаж);
- г) підвищення стійкості верхового укосу під час швидкого спорожнення водосховища, а також для того, щоб зняти паровий тиск, який виникає під час сейсмічних дій;
- д) відведення води, що профільтрувалася крізь протифільтраційні пристрої.

Дренажний банкет (дренажна призма) влаштовується на руслових ділянках гребель з кам'яного накиду. Перевищення гребню банкету над максимальним рівнем води нижнього б'єфа необхідно назначати розрахунком, але не менше ніж 0,5 м. Ширина банкету у верхній частині вибирається з виробничих умов, проте не менше ніж 1,0 м. По внутрішньому укосі банкету та на контакті з основою вкладається зворотний фільтр (рис. 3, а).

Приставний дренаж (рис. 3, б) криву депресії не знижує, а тільки захищає низовий укіс в місці виходу фільтраційного потоку від можливих фільтраційних деформацій. У конструктивному відношенні він має вигляд зворотного фільтра, який розташовується на поверхні укосу. Товщину приставного дренажу зі зворотним фільтром слід приймати з умов виконання робіт, але не менше глибини промерзання. Зворотній фільтр укладається по контакту з укосом та основою.

Трубчастий дренаж (рис. 3, в) виконують із перфорованих керамічних або азбестоцементних труб та обсипають зворотним фільтром. Діаметр труб призначається з умов пропуску фільтраційної витрати при безнапірному режимі, але не менше ніж 0,2 м. Труби вкладають в тіло греблі вздовж низового укосу на відстані не більше $\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}$ ширини споруди по основі та не менше глибини промерзання. Для відведення води із трубчастого дренажу нижній б'єф по довжині греблі влаштовують відвідні дрени (колектори), які виходять в кювет, який прокладається паралельно підосві греблі.

Поперечний переріз греблі наведений в дод. 2-4.

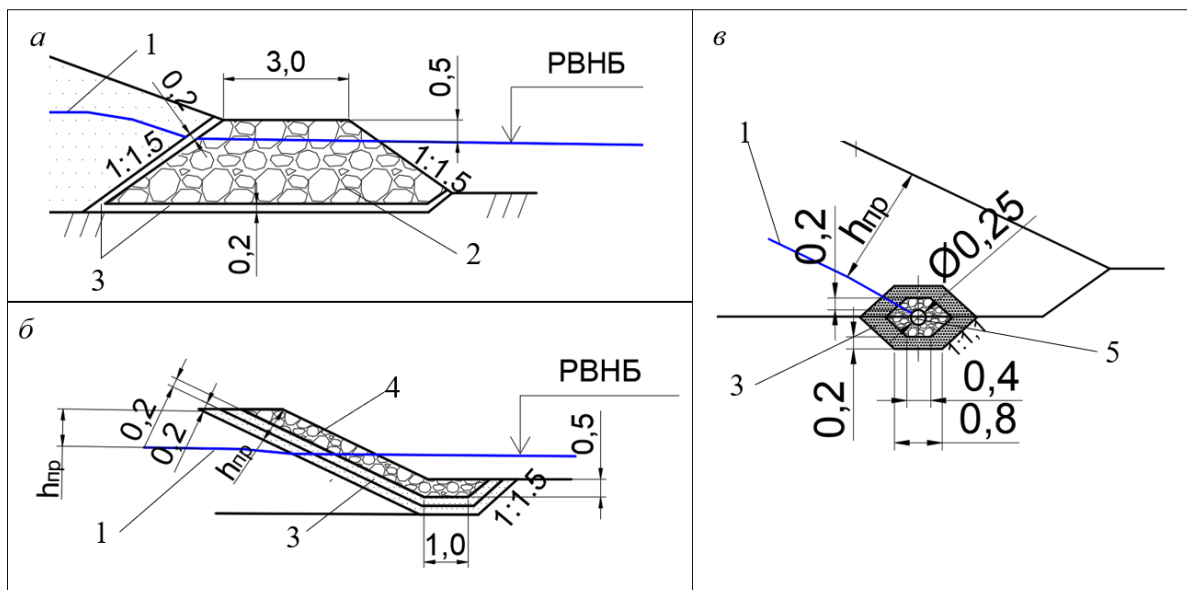


Рис. 3. Основні типи дренажу:

а – дренажний банкет; *б* – приставний дренаж; *в* – трубчастий дренаж;
1 – крива фільтрації; *2* – дренажний банкет; *3* – зворотний фільтр;
4 – поглинальний дренаж; *5* – труба

1.5. Фільтраційний розрахунок

У пазі підняття рівня води в водосховищі до НПР у тілі греблі виникає рух фільтраційного потоку з верхнього б'єфу в нижній. Рух ґрунтового потоку в тілі греблі буде безнапірним, тому що він обмежений зверху вільною поверхнею, в якій у всіх точках тиск дорівнює атмосферному. Вільна поверхня фільтраційного потоку називається поверхнею депресії, а лінія перетину цієї поверхні з вертикальною площиною – депресійною кривою, або кривою депресії. Нижче поверхні депресії ґрунт насичений водою, а вище неї знаходиться зона капілярного підняття води, висота якої залежить від складу ґрунту. Вище капілярної зони ґрунт знаходиться в умовах природної вологості, яка залежить від кліматичних умов.

Фільтраційний розрахунок виконується для визначення:

- положення депресійної поверхні;
- фільтраційної витрати;
- фільтраційної стійкості тіла греблі і основи.

Розрахунок виконується для основного випадку: НПР у верхньому б'єфі та меженній глибині в нижньому б'єфі; та для перевірного випадку: ФПР в верхньому б'єфі та максимальна глибина в нижньому б'єфі.

Розрахунок фільтрації через тіло греблі можна виконувати за формулами гідравліки (наведена методика нижче) або за допомогою сучасного програмного комплексу GeoStudio, послідовність розрахунки наведена в методичних вказівках [6], для студентів вільний доступ.

Розрахунок фільтрації через однорідну земляну греблю на водонепроникній основі з приставним дренажем

Виконуючи гідравлічні розрахунки, поперечний профіль греблі розбивається на три характерні частини: верховий клин, середню частину і низовий клин.

Верховий клин обмежений верховим укосом греблі і вертикальним перерізом 1-1, який проходить через верхню брівку гребня греблі; середня частина – від перерізу 1 - 1 до перерізу 2 - 2, який проходить через точку С виходу кривої депресії на низовому укосі греблі; низовий клин, обмежений низовим укосом і перерізом 2 – 2 (рис. 4). Крива фільтрації на середній ділянці визначається за формулами гідравліки, на верхньому та низовому клинах домальовується вручну.

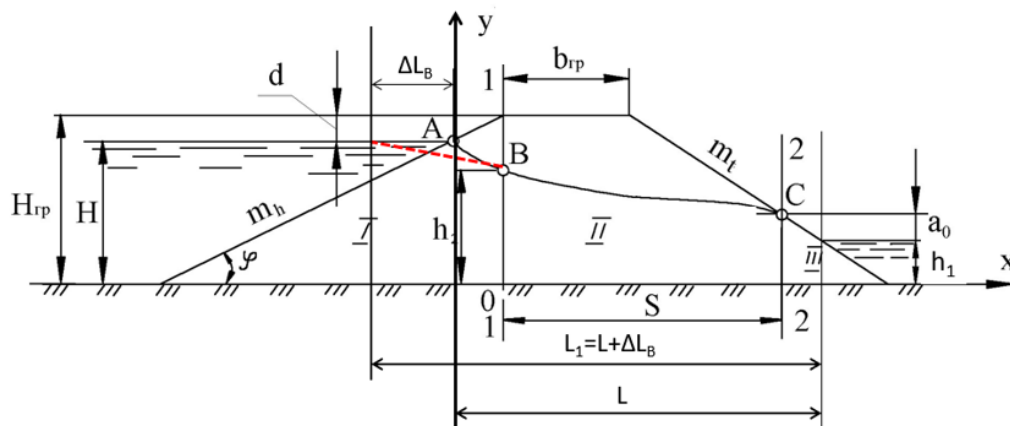


Рис. 4. Розрахункова схема до фільтрації через однорідну греблю з приставним дренажем на водонепроникній основі

Послідовність розрахунку:

Визначаємо довжину подовження лінійної ділянки ΔL_B :

$$\Delta L_B = \beta_B H, \quad (10)$$

$$\beta_B = \frac{m_h}{2m_h + 1}, \quad (11)$$

де H – напір перед греблею, м; m_h - закладання верхового укосу.

Визначаємо розрахункову довжину фільтрації:

$$L_1 = L + \Delta L_B, \quad (12)$$

де L – відстань від перетину рівня води з укосом в верхньому б'єфі та нижньому, м.

Визначаємо співвідношення питомої витрати через греблю до коефіцієнта фільтрації:

$$\frac{q}{k} = \frac{H^2 - h_1^2}{2L_1}, \quad (13)$$

де h_1 – напір води в нижньому б'єфі.

Розраховуємо висоту виходу кривої фільтрації на низовий укос:

Перевищення над рівнем води в нижньому б'єфі:

$$a_0 = a + \sqrt{a^2 + \frac{m_t}{2f(m_t)} h_1 \frac{q}{k}}, \quad (14)$$

$$a = 0,5f(m_t) \frac{q}{k} - 0,5 \left[1 + \frac{m_t}{2(f(m_t))^2} \right] h_1, \quad (15)$$

$$f(m_t) = 0,5 + m_t, \quad (16)$$

де m_t – закладання низового укосу.

Координата кривої фільтрації на середній ділянці на відстані x від початку координат (рис. 4):

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L - x - m_t a_0) + (h_1 + a_0)^2}, \quad (17)$$

За формулою (17) знаходимо 5 значень висоти кривої фільтрації для різних значень x та будуємо криву фільтрації на перерізі греблі.

Розрахунок фільтрації через однорідну земляну греблю на водонепроникній основі з дренажним банкетом

Послідовність розрахунку:

Визначаємо значення ΔL_B за допомогою формул (10) та (11).

Графічно визначаємо довжину L (рис. 5). Розраховуємо ΔL_H відстань від кінця банкету до точки входу в банкет (рис. 5):

$$\Delta L_H = \frac{m_1^1 H_2}{3}, \quad (18)$$

де m_1^1 – закладання внутрішнього укосу банкету, 1,5; H_2 – висота води в нижньому б'єфі, м.

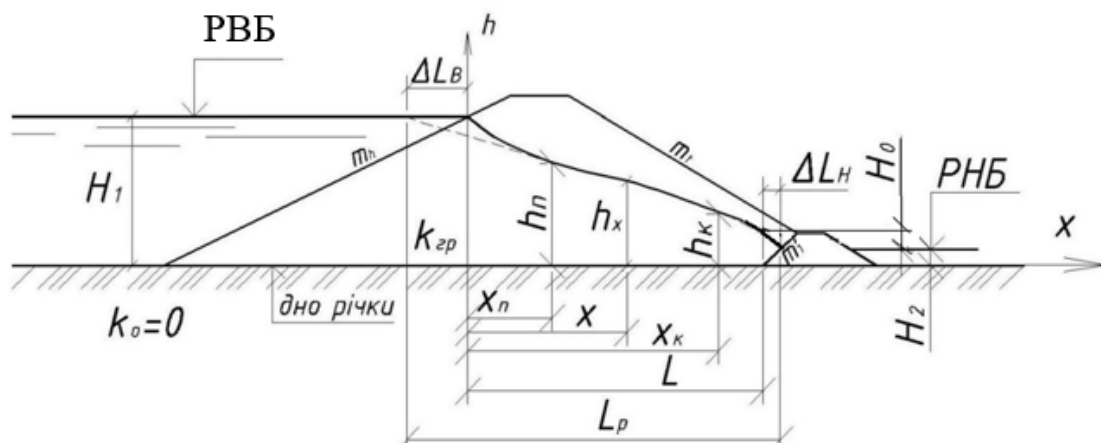


Рис. 5. Розрахункова схема до фільтрації через однорідну греблю з дренажним банкетом на водонепроникній основі

Визначаємо розрахункову довжину фільтрації:

$$L_p = \Delta L_B + L + \Delta L_H. \quad (19)$$

Визначаємо значення фільтраційної витрати на 1 п. м греблі за формулою:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_p}. \quad (20)$$

Визначаємо висоту кривої фільтрації в кінці банкету H_0 :

$$H_0 = \sqrt{H_1^2 - 2\frac{q}{k}(L + \Delta L_B)} - H_2 \quad (21)$$

За значеннями x знаходимо відповідні значення h_x на середній ділянці:

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k}(L-x+\Delta L_H) + (H_2 + H_0)^2}, \quad (22)$$

Крива фільтрації на середній ділянці визначається за формулою (22), на верхньому та низовому клинах домальовується вручну.

Розрахунок фільтрації через однорідну земляну греблю з трубчастим дренажем на водонепроникній основі

Послідовність розрахунку:

Визначаємо значення ΔL_B за допомогою формул (10) та (11).

Графічно визначаємо довжину L

Визначаємо значення

$$L_p = \Delta L_B + L, \quad (23)$$

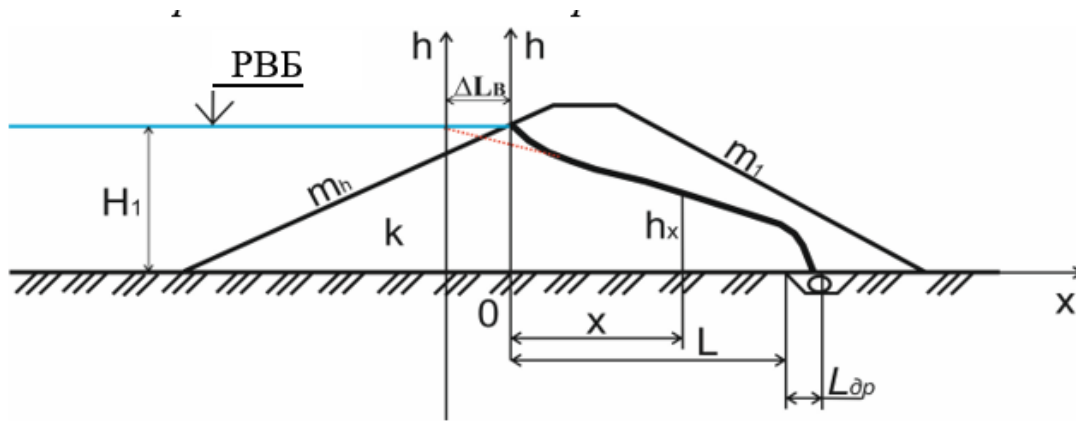


Рис. 6. Розрахункова схема до фільтрації через однорідну греблю з трубчастим дренажем на водонепроникній основі

Визначаємо значення фільтраційної витрати на 1 п. м греблі за формулою:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2}{2L_p}, \quad (24)$$

Уточнюємо відстань початку впливу дренажу:

$$L_{др} = \frac{0,5q}{k}, \quad (25)$$

За значеннями x знаходимо відповідні значення h_x :

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L - x + L_{др})}, \quad (26)$$

Гребля з ядром і дренажним банкетом

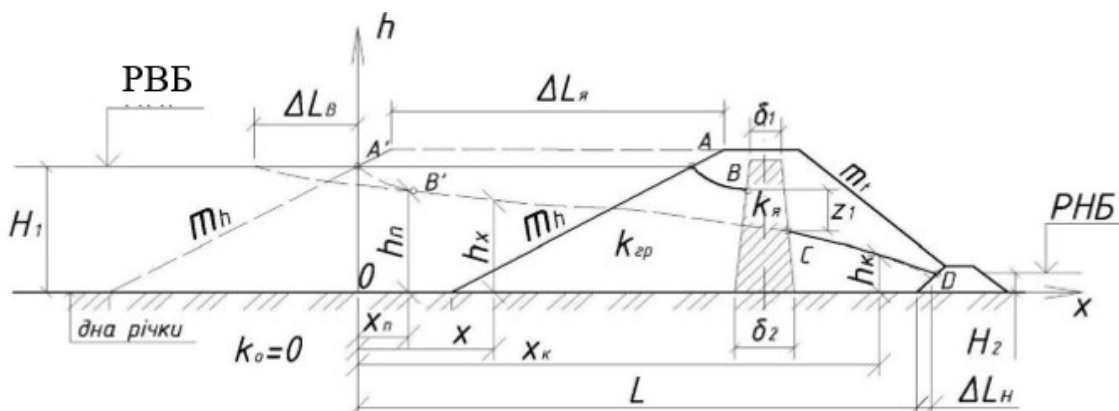


Рис. 7. Розрахункова схема до фільтрації через греблю з ядром і дренажним банкетом на водонепроникній основі

За відомим коефіцієнтом фільтрації матеріалу ядра $k_{\text{я}}$ та розмірами у верхній δ_1 і в нижній δ_2 частинах спочатку визначається середня товщина ядра:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{2}. \quad (27)$$

Способом віртуальних довжин визначаємо приведену довжину ядра:

$$\Delta L_{\text{я}} = \frac{k_{\text{гр}}}{k_{\text{я}}} \delta_{\text{ср}}, \quad (28)$$

Гребля з ядром приводиться до однорідної греблі ширшій на величину $\Delta L_{\text{я}}$ (рис. 7). Складається розрахункова схема (на рис. 7 профіль віртуальної однорідної греблі показано пунктиром) і подальший розрахунок проводиться для однорідної греблі з банкетом на водонепроникній основі (див. рис. 5).

Послідовність розрахунку:

Визначаємо значення ΔL_B за допомогою формул (10) та (11).

Графічно визначаємо довжину L (рис. 5). Розраховуємо ΔL_H відстань від кінця банкету до точки входу в банкет (рис. 5) за формулою (18).

Визначаємо розрахункову довжину фільтрації:

$$L_p = \Delta L_B + L + \Delta L_H + \Delta L_{\text{я}}. \quad (29)$$

Визначаємо значення фільтраційної витрати на 1 п. м греблі за формулою (20).

Визначаємо висоту кривої фільтрації в кінці банкету H_0 за формулою:

$$H_0 = \sqrt{H_1^2 - 2 \frac{q}{k} (L + \Delta L_B + \Delta L_{\text{я}})} - H_2. \quad (30)$$

За значеннями x (рис. 7) знаходимо відповідні значення h_x на середній ділянці:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L + \Delta L_{\text{я}} - x + \Delta L_H) + (H_2 + H_0)^2}. \quad (31)$$

Значення x повинно включати точку перетину з ядром на верховій призмі і точку виходу води з ядра та 3 точки в нижній призмі до початку дренажного банкету.

Крива фільтрації на середній ділянці визначається за формулою (27), на верхньому та низовому клинах домальовується вручну.

Гребля з ядром і приставним дренажем

За відомим коефіцієнтом фільтрації матеріалу ядра k_y та розмірами у верхній δ_1 і в нижній δ_2 частинах спочатку визначається середня товщина ядра за формулою (27).

Визначаємо приведену довжину ядра за формулою (28).

Гребля з ядром приводиться до однорідної греблі ширшій на величину ΔL_y (рис. 8). Складається розрахункова схема (на рис. 8 профіль віртуальної однорідної греблі показано пунктиром) і подальший розрахунок проводиться для однорідної греблі з приставним дренажем на водонепроникній основі (рис.4).

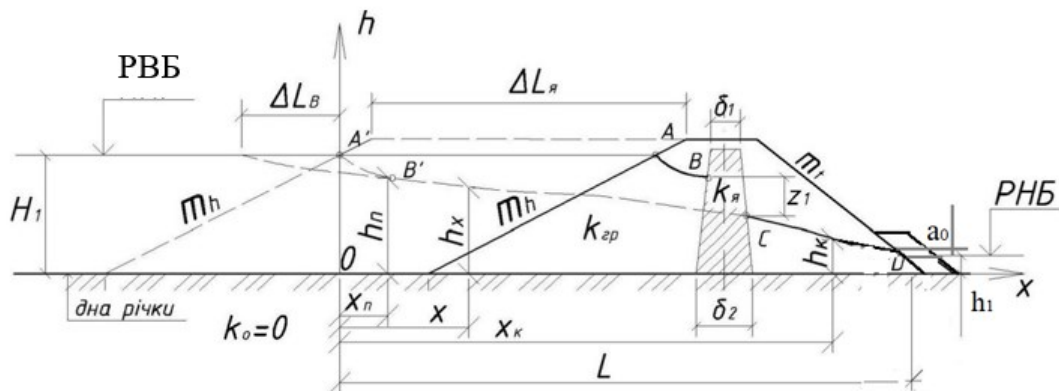


Рис.8. Розрахункова схема до фільтрації через греблю з ядром і приставним дренажем на водонепроникній основі

Послідовність розрахунку:

Визначаємо значення ΔL_B за допомогою формул (10) та (11).

Графічно визначаємо довжину L (див. рис. 4).

Визначаємо розрахункову довжину фільтрації за формулою (12).

Визначаємо співвідношення питомої витрати через греблю до коефіцієнта фільтрації за формулою (13)

Розраховуємо висоту виходу кривої фільтрації на низовий укос.

Перевищення над рівнем води в нижньому б'єфі знаходимо за формулою (14), (15) та (16).

Координата кривої фільтрації на середній ділянці на відстані x від початку координат (див. рис. 4) визначається за формулою (17).

Значення x повинно включати точку перетину з ядром на верховій призмі і точку виходу води з ядра та 3 точки в нижній частині греблі. Крива фільтрації на середній ділянці визначається за формулою (17), на верхньому та низовому клинах домальовується вручну.

Гребля з екраном і дренажним банкетом .

За відомим коефіцієнтом фільтрації матеріалу екрана k_e , тіла греблі k_{gp} та розмірами у верхній δ_1 і в нижній δ_2 частинах визначається його середня товщина δ_{cp} за формулою (27). По способу віртуальних довжин гребля з екраном приводиться до однорідної, при цьому :

$$\Delta L_e = \frac{k_{gp}}{k_e} \delta_{cp} \sin \alpha, \quad (32)$$

де α – кут нахилу середньої лінії екрану до горизонту.

Складається в масштабі розрахункова схема (рис. 9, контур однорідної греблі показано пунктиром).

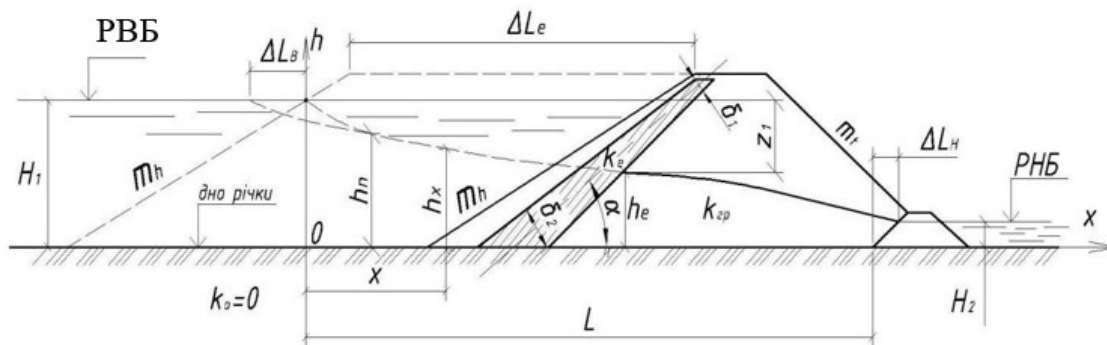


Рис. 9. Розрахункова схема для греблі з екраном на дренажним банкетом на водонепроникній основі

Послідовність розрахунку:

Визначаємо значення ΔL_B за допомогою формул (10) та (11).

Графічно визначаємо довжину L (рис. 5). Розраховуємо ΔL_H (рис. 5) за формулою (18)

Визначаємо розрахункову довжину фільтрації:

$$L_p = \Delta L_B + L + \Delta L_H + \Delta L_e. \quad (33)$$

Визначаємо значення фільтраційної витрати на 1 п.м греблі за формулою (20). Визначаємо висоту кривої фільтрації в кінці банкету H_0 за формулою:

$$H_0 = \sqrt{H_1^2 - 2 \frac{q}{k} (L + \Delta L_B + \Delta L_e) - H_2^2} \quad (34)$$

За значеннями x (рис. 9) знаходимо відповідні значення h_x на середній ділянці:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L + \Delta L_e - x + \Delta L_H) + (H_2 + H_0)^2}. \quad (35)$$

Необхідно визначити п'ять значень точки x за межами екрана в нижній призмі до початку дренажного банкету.

Крива фільтрації на середній ділянці визначається за формулою (35), на верхньому та низовому клинах домальовується вручну.

Після побудови кривої фільтрації в тілі греблі необхідно перевірити фільтраційну міцність греблі та протифільтраційних пристроїв (екрана, ядра) за формулою:

$$I_{est,m} \leq \frac{1}{\gamma_n} I_{cr,m}, \quad (36)$$

де $I_{est,m}$ – діючий середній градієнт напору; $I_{cr,m}$ – критичний середній градієнт напору, для попередніх розрахунків вибирається за табл. 6; γ_n – коефіцієнт надійності по відповідальності споруд, для споруд класу СС3 – 1,25; СС2 – 1,2; СС1 – 1,1.

Для однорідної греблі значення $I_{est,m}$ знаходиться за залежністю:

$$I_{est,m} = \frac{z}{(L+0,4H_1)}, \quad (37)$$

де L – відстань від урізу води у верхньому б'єфі до крайньої лівої точки дренажу, м; z – різниця напорів в верхньому і нижньому б'єфах, м.

Таблиця 6

Критичні значення градієнту напору

Ґрунт	$I_{cr,m}$		
	понур	Екран, ядро	Тіло греблі
Глина	15	12	8...2
Суглінок	10	8	4...1,5
Супісок	3	2	2...1
Пісок середній			1,0
дрібний			0,75

Для неоднорідної греблі з екраном або ядром $I_{est,m}$:

$$I_{est,m} = \frac{z_1}{\delta_{cp}}, \quad (38)$$

де z_1 – втрати напору в ядрі або екрані, м.

Список літератури

1. *Видання.* Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності): ДСТУ 8855:2019. – [Чинний від 2019-12-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 14 с. (Національний стандарт України).
2. *Видання.* Гідротехнічні споруди. Основні положення: ДБН В.2.4-3:2010. – [Чинний від 01.12.2019] – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 37с. (Національний стандарт України).
3. Закон України про регулювання містобудівної діяльності: офіц. вид: станом 04.01.2024р / Верховна Рада України. – Київ [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 08.01.2024). – Назва з екрана.
4. Закон України про оцінку впливу на довкілля: офіц. вид: станом 04.01.2024р / Верховна Рада України. – Київ [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text/> (дата звернення: 08.01.2024). – Назва з екрана.
5. Хлапук М.М. Гідротехнічні споруди: навч. посіб. / М.М. Хлапук, Л.А. Шинкарук, А.В. Дем'янюк, О.А. Дмитрієва. – Рівне: НУВГП, 2013. – 241 с.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт Розрахунки гідротехнічних споруд з використання програмного комплексу GeoStudio/ уклад. С.В. Величко, О.В. Дупляк. – К.: КНУБА, 2024. – 44 с.

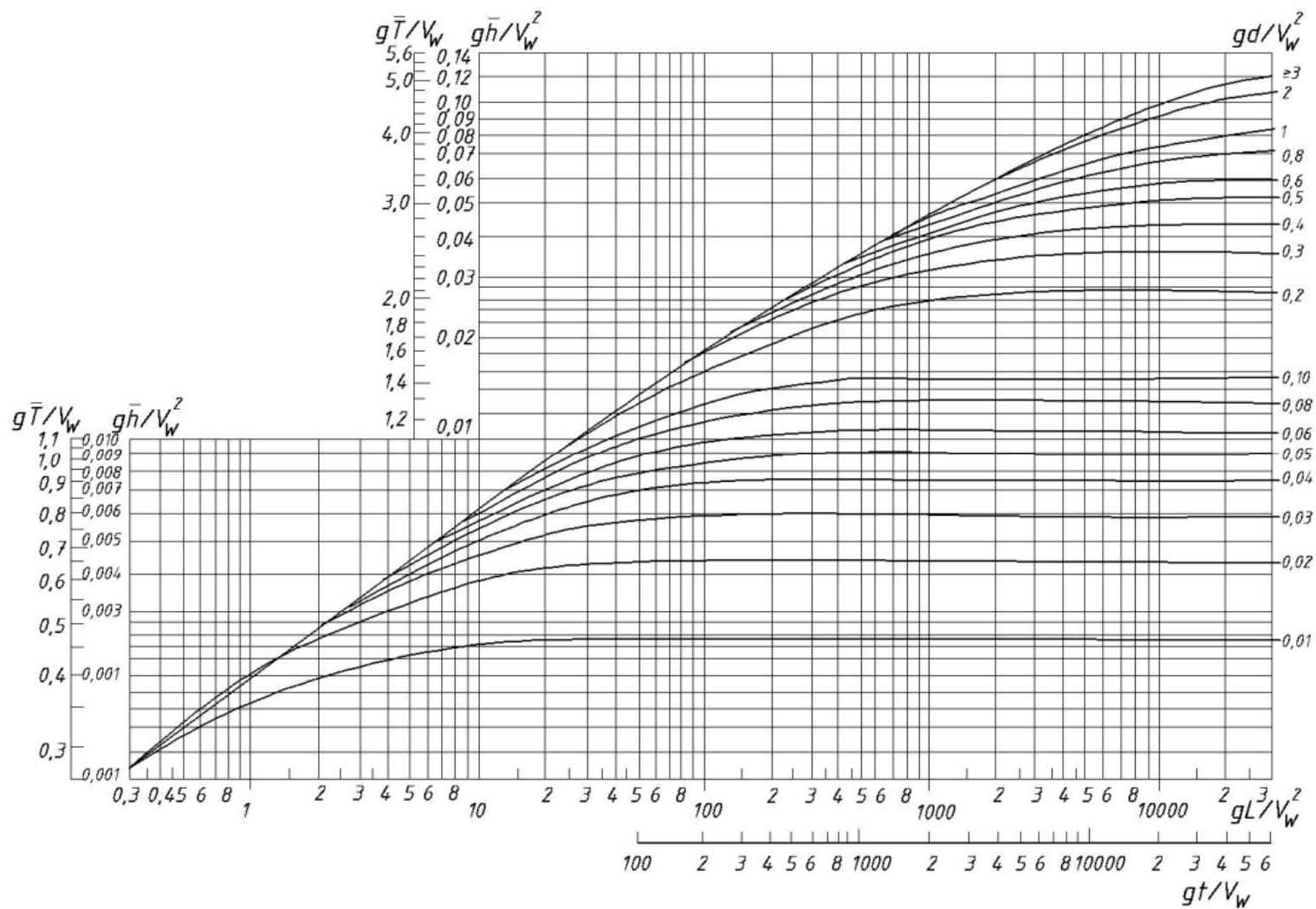


Рис. Д1. Визначення елементів вітрової хвилі [5]

Поперечний переріз ґрунтової греблі
розріз 1-1
М 1:100

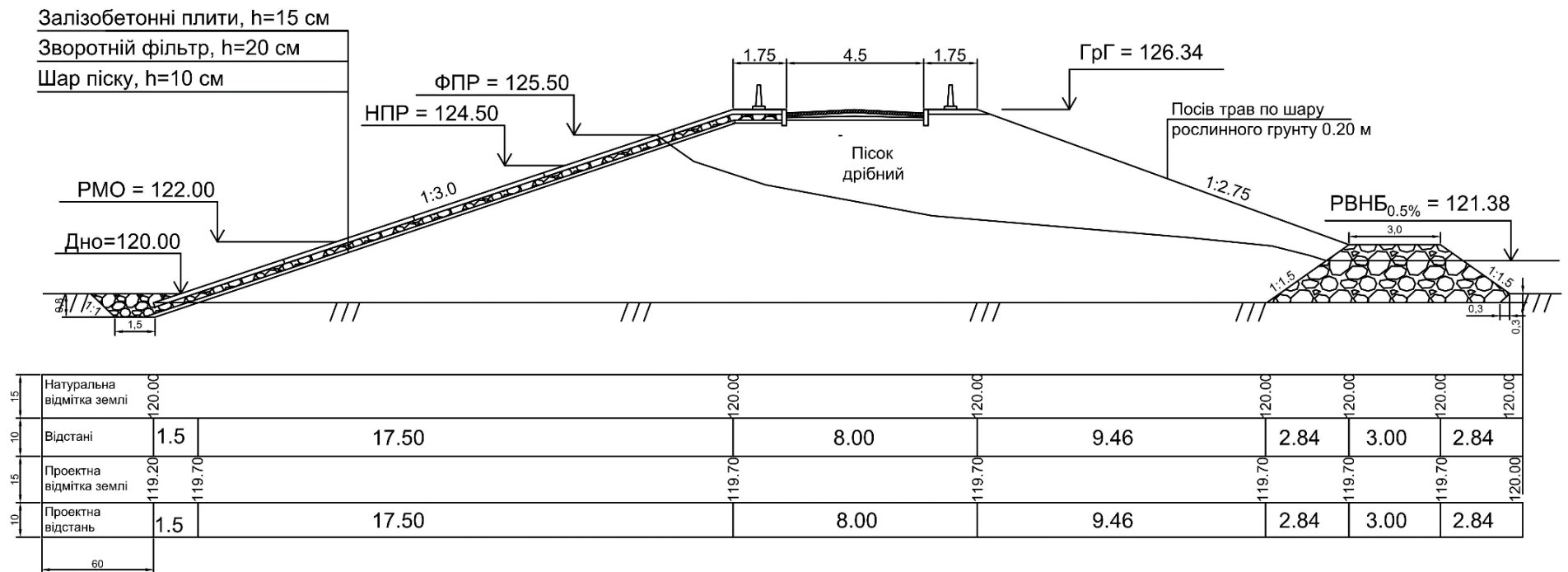


Рис. Д2. Ґрунтова гребля однорідна з дренажним банкетом



Поперечний переріз ґрунтової греблі
розріз 1-1
М 1:100

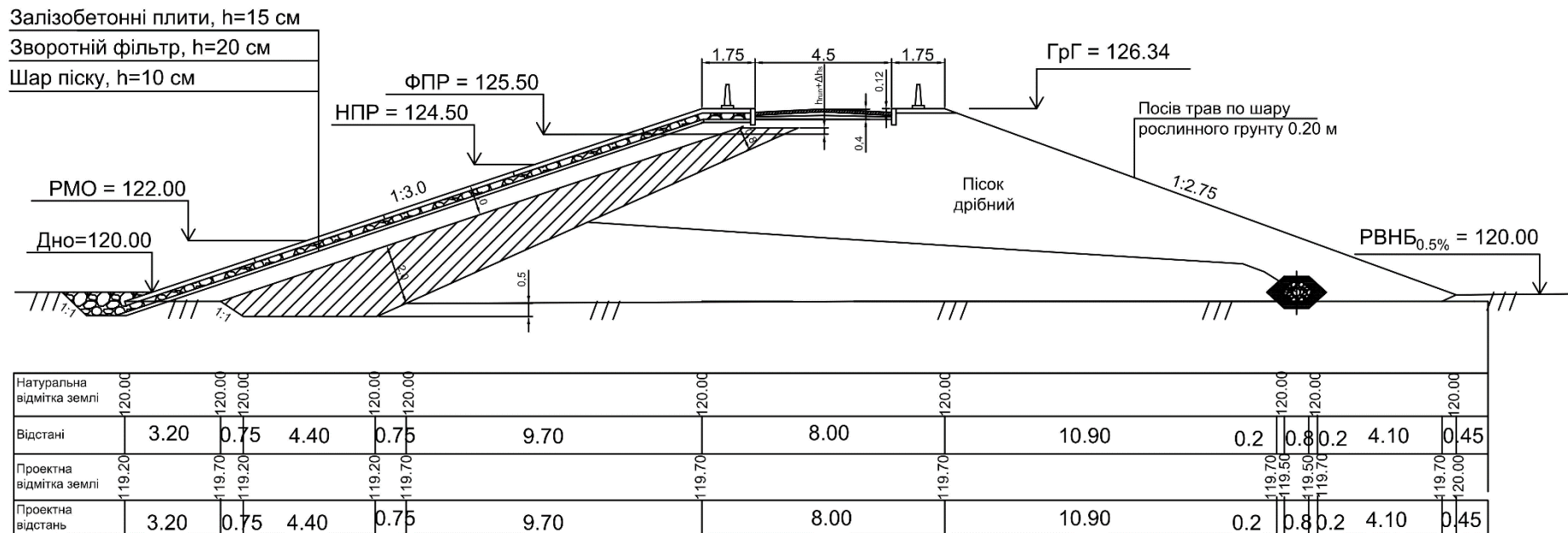


Рис. Д4. Ґрунтова гребля з екраном та трубчатим дренажем

Навчально-методичне видання

**ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ.
РОЗРАХУНКИ ҐРУНТОВОЇ ГРЕБЛІ**

Методичні вказівки

до виконання розрахунково-графічної роботи
здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 192 «Водопостачання та водовідведення»
освітньо-професійної програми «Будівництво та цивільна інженерія»

Укладачі: **Величко** Світлана Віталіївна,
Дупляк Олена Віталіївна

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,5

Електронний документ. Вид № 38/V-24.

Виконавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р